ELEKTROKOAGULASI KONFIGURASI MONOPOLAR SERI UNTUK PENYISIHAN REMAZOL BLACK B DENGAN VARIASI TEGANGAN DAN KONSENTRASI AWAL LARUTAN PEWARNA SINTETIS

SKRIPSI

TEKNIK KIMIA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik

ANNISA GIANI ZAHRA

NIM. 165061101111016

DIMAS MAULANA LUQMAN

NIM. 165061101111028

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2020

repository.ub.ac.id

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PENGESAHAN

ELEKTROKOAGULASI KONFIGURASI MONOPOLAR SERI UNTUK PENYISIHAN REMAZOL BLACK B DENGAN VARIASI TEGANGAN DAN KONSENTRASI AWAL LARUTAN PEWARNA SINTETIS

SKRIPSI

TEKNIK KIMIA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

ANNISA GIANI ZAHRA

NIM. 165061101111016

DIMAS MAULANA LUQMAN

NIM. 165061101111028

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 18 Agustus 2020

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Julianandа, ST., M.Sc	Ir. Bambang Ismuyanto, MS.
NIK. 2013048307182001	NIP. 196005041986031003

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Ir. Bambang Poerwadi, MS.
NIP. 196001261986031001

repository.ub.ac.id

IDENTITAS TIM PENGUJI

JUDUL SKRIPSI :

ELEKTROKOAGULASI KONFIGURASI MONOPOLAR SERI UNTUK PENYISIHAN REMAZOL BLACK B DENGAN VARIASI TEGANGAN DAN KONSENTRASI AWAL LARUTAN PEWARNA SINTETIS

Nama Mahasiswa / NIM : 1. Annisa Giani Zahra / 165061101111016

2. Dimas Maulana Luqman / 165061101111028

Jurusan S1 : Teknik Kimia

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Ir. Bambang Poerwadi, MS.

Dosen Penguji 2 : Juliananda, ST., M.Sc

Dosen Penguji 3 : Vivi Nurhadianty, ST., MT.

Tanggal Ujian : 3 Agustus 2020

SK Penguji : 1328/UN10.F07/SK/2020

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 17 Agustus 2020

Mahasiswa,

Annisa Giani Zahra

NIM. 165061101111016

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
rawijaya

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
repository.ub.ac.id

TURNITIN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 188/UN10.F07.18/PP/2020

Sertifikat ini diberikan kepada :

ANNISA GIANI ZAHRA

Dengan Judul Skripsi :

Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar Seri untuk Penyisihan Remazol Black B dengan Variasi Tegangan dan Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintesis *(Electrocoagulation using Monopolar Series Configuration for Remazol Black B Removal with Variation of Voltage and Initial Concentration of Synthetic Dye Solutions)*

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi ≤ 20 %, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 20 JUL 2020

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 17 Agustus 2020

Mahasiswa,

Dimas Maulana Luqman

NIM. 165061101111028

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
repository.ub.ac.i

TURNITIN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 188/UN10.F07.18/PP/2020

Sertifikat ini diberikan kepada :

DIMAS MAULANA LUQMAN

Dengan Judul Skripsi :

Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar Seri untuk Penyisihan Remazol Black B dengan Variasi Tegangan dan Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintesis *(Electrocoagulation using Monopolar Series Configuration for Remazol Black B Removal with Variation of Voltage and Initial Concentration of Synthetic Dye Solutions)*

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi ≤ 20 %, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 20 JUL 2020

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

Teriring Ucapan Terima Kasih kepada

Ayah dan Ibu Tercinta

RINGKASAN

Annisa Giani Zahra dan **Dimas Maulana Luqman**, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2020, *Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar Seri untuk Penyisihan Remazol Black B dengan Variasi Tegangan dan Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis*, Dosen Pembimbing: Julianandа dan Bambang Ismuyanto.

Industri batik saat ini berkembang pesat hingga 15% menurut Asosiasi Pertekstilan Indonesia. Dalam pembuatan batik terdapat proses pewarnaan dan percetakan yang menghasilkan limbah cair mengandung zat warna yang sangat karsinogenik, sehingga pewarna harus dibedakan dan dipisahkan dari air limbah sebelum dibuang. Zat warna yang umum digunakan dalam industri batik adalah jenis pewarna reaktif azo, seperti *Remazol Black B*. Salah satu metode penyisihan limbah cair yang mengandung zat warna yaitu dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Metode elektrokoagulasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu arus, tegangan, jenis elektroda, konsentrasi awal larutan, jarak elektroda, serta pasivasi elektroda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tegangan dan konsentrasi awal larutan pewarna sintetis pada penyisihan zat warna *Remazol Black B* dengan metode elektrokoagulasi.

Penelitian elektrokoagulasi ini menggunakan metode penelitian secara kuantitatif dengan variasi tegangan sebesar 10 V, 15 V, 20 V, dan 25 V. Variasi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis yang digunakan sebesar 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, dan 125 ppm. Proses elektrokoagulasi dilakukan pada reaktor 250 mL berisi larutan pewarna sintetis sebanyak 200 mL dengan kecepatan pengadukan 200 rpm selama 60 menit. Elektroda yang digunakan berupa empat buah pelat aluminium dengan ukuran 7 cm × 4 cm, dimana 2 pelat sebagai anoda dan 2 pelat sebagai katoda yang disusun dengan konfigurasi monopolar seri dengan jarak antar elektroda sebesar 0,5 cm. Pengambilan sampel dilakukan setiap 10 menit untuk diukur konsentrasi akhirnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil pengukuran konsentrasi akhir digunakan untuk menentukan penyisihan zat warna.

Penyisihan zat warna *Remazol Black B* meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan dan konsentrasi awal larutan pewarna sintetis pada proses elektrokoagulasi selama 60 menit. Elektrokoagulasi dengan tegangan bervariasi didapatkan penyisihan sebesar 94,97% pada tegangan 25 V dan konsentrasi awal larutan pewarna sintetis 25 ppm. Elektrokoagulasi dengan variasi konsentrasi awal pewarna sintetis didapatkan penyisihan optimal sebesar 93,33% pada konsentrasi 125 ppm dan tegangan 25 V.

Kata kunci: aluminium, elektrokoagulasi, konsentrasi, *Remazol Black B*, tegangan

SUMMARY

Annisa Giani Zahra and **Dimas Maulana Luqman**, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, June 2020, *Electrocoagulation using Monopolar Series Configuration for Remazol Black B Removal with Variation of Voltage and Initial Concentration of Synthetic Dye Solutions*, Academic Supervisor: Julianandа and Bambang Ismuyanto.

The current batik industry flourishes by 15% according to Indonesia's Crude Association. Batik production includes a process of dyeing and printing that produces liquid waste that contains highly carcinogecnic colors, so it has to be distinguished and separated from wastewater before disposal. A typical color dye used in the batik industry is azo reactive dye, such as *Remazol Black B*. One of the methods of dye wastewater removal using an electrocoagulation method. This method is affected by several factors, including current, applied voltage, electrode type, initial concentration of solution, distance between electrodes, and the passivity of electrode. This study aims to identify the effect of voltage and initial concentration of synthetic dyes on the *Remazol Black B* removal by electrocoagulation methods.

This electocoagulation research employed a quantitative study method with voltage variations of 10 V, 15 V, 20 V, and 25 V. Initial concentration of synthetic dye solutions were 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, and 125 ppm. Electrocoagulation process carried out on a 250 mL reactor containing 200 mL synthetic dye solution with stirring velocity of 200 rpm for 60 minutes. The electrodes used were four plates of aluminium with size 7 cm × 4 cm, where two plates as anodes and two plates as cathodes arranged in series monopolar configuration with distance between the electrodes is 0.5 cm. Sampling was carried out every 10 minutes to measure the final dye concentration using UV-Vis spectrophotometer. The result of final dye concentration measurement used to determine dye removal percentage.

Remazol Black B removal increases as the voltage and initial concentration of synthetic dyes increases in the electrocoagulation process for 60 minutes. With the initial concentration of 25 ppm, the optimum voltage in this study was 25 V with removal percentage of 94.97%. *Remazol Black B* removal increases as the initial concentration of synthetic dye solutions increases in the electrocoagulation process for 60 minutes. With voltage of 25 V, the highest removal is 93,33% by initial concentration of 125 ppm.

Keywords: aluminum, concentration, electrocoagulation, *Remazol Black B*, voltage

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI ii
DAFTAR TABEL iv
DAFTAR GAMBAR v
DAFTAR LAMPIRAN vi
DAFTAR SIMBOL vii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Limbah Industri Batik 5
2.1.1 Karakteristik Limbah Cair Industri Batik 5
2.1.2 Baku Mutu Limbah Cair Industri Batik 5
2.2 Remazol Black B 6
2.2.1 Sifat Fisika dan Kimia 6
2.2.2 Aplikasi Remazol Black B dalam Industri Batik 8
2.3 Koloid 8
2.4 Metode Penyisihan Limbah Tekstil 9
2.5 Elektrokoagulasi 10
2.5.1 Prinsip Elektrokoagulasi 11
2.5.2 Faktor yang Mempengaruhi Elektrokoagulasi 13
2.5.2.1 Kecepatan Pengadukan 13
2.5.2.2 pH Larutan 14
2.5.2.3 Tegangan 14
2.5.2.4 Densitas Arus 14
2.5.2.5 Konsentrasi Awal Larutan 14
2.5.2.6 Konduktivitas Larutan 14
2.5.2.7 Jarak Antar Elektroda 15
2.5.2.8 Pasivasi Elektroda 15
2.5.2.9 Waktu 15
2.5.2.10 Jenis Logam Elektroda 15

2.5.2.11 Konfigurasi Elektroda 15
2.6 Spektrofotometer UV-Vis 16
2.7 Penelitian Terdahulu 18
BAB III METODE PENELITIAN 19
3.1 Metode Penelitian 19
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian 19
3.3 Variabel Penelitian 19
3.4 Alat dan Bahan Penelitian 20
3.4.1 Alat Penelitian 20
3.4.2 Bahan Penelitian 20
3.5 Prosedur Penelitian 20
3.5.1 Pembuatan Larutan Induk 20
3.5.2 Pembuatan Larutan Pewarna Sintetis 21
3.5.3 Perlakuan Awal Elektroda 22
3.5.4 Persiapan Rangkaian Sel Elektrokoagulasi 23
3.5.5 Proses Elektrokoagulasi 24
3.5.5.1 Proses Elektrokoagulasi dengan Variasi Tegangan 24
3.5.5.2 Proses Elektrokoagulasi dengan Variasi Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis 25
3.5.6 Pembuatan Larutan Standar 26
3.5.7 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum 26
3.5.8 Pengukuran Absorbansi Larutan Standar 27
3.5.9 Pengukuran Absorbansi Sampel 27
3.5.10 Perlakuan Akhir Elektroda 28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 29
4.1 Pengaruh Tegangan terhadap Penyisihan Zat Warna 29
4.2 Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis terhadap Penyisihan Zat Warna 34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 37
5.1 Kesimpulan 37
5.2 Saran 37
DAFTAR PUSTAKA 39
LAMPIRAN 43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah Cair Industri Batik 5

Tabel 2.2 Nama dan Struktur Kimia Kromofor 6

Tabel 2.3 Sifat Fisika dan Kimia Remazol Black B 8

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu 18

Tabel 4.1 Perubahan Nilai pH pada Variabel Tegangan Tiap Interval Waktu 32

Tabel 4.2 Data Hasil Pengukuran Arus pada Tegangan 20 V dan 25 V 33

Tabel 4.3 Perubahan Massa Anoda pada Variabel Tegangan 34

Tabel 4.4 Perubahan Nilai pH pada Variabel Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis Tiap Interval Waktu 36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Molekul Remazol Black B 7
Gambar 2.2 Model Sederhana Sel Elektrokoagulasi 10
Gambar 2.3 Distribusi Spesi Hidrolisis Aluminium terhadap pH 13
Gambar 2.4 Konfigurasi Secara (a) Monopolar Paralel, (b) Bipolar Paralel, dan (c) Monopolar Seri 16
Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Larutan Induk 20
Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Larutan Pewarna Sintetis 21
Gambar 3.3 Diagram Alir Perlakuan Awal Elektroda 22
Gambar 3.4 Diagram Alir Persiapan Rangkaian Sel Elektrokoagulasi 23
Gambar 3.5 Rangkaian Sel Elektrokoagulasi 24
Gambar 3.6 Diagram Alir Proses Elektrokoagulasi dengan Variasi Tegangan 24
Gambar 3.7 Diagram Alir Proses Elektrokoagulasi dengan Variasi Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis 25
Gambar 3.8 Diagram Alir Pembuatan Larutan Standar 26
Gambar 3.9 Diagram Alir Penentuan Panjang Gelombang Maksimum 26
Gambar 3.10 Diagram Alir Pengukuran Absorbansi Larutan Standar 27
Gambar 3.11 Diagram Alir Pengukuran Absorbansi Sampel 27
Gambar 3.12 Diagram Alir Perlakuan Akhir Elektroda 28
Gambar 4.1 Grafik antara Persen Penyisihan terhadap Waktu Proses Elektrokoagulasi pada Variasi Tegangan 29
Gambar 4.2 Grafik antara Persen Penyisihan terhadap Waktu Proses Elektrokoagulasi pada Variasi Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis 35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil Uji Spektrofotometer UV-Vis 43
1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan Standar 43
2. Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar 44
3. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Tegangan 10 Volt 45
4. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Tegangan 15 Volt 46
5. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Tegangan 20 Volt 47
6. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Tegangan 25 Volt 48
7. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Konsentrasi Awal 25 ppm 49
8. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Konsentrasi Awal 50 ppm 50
9. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Konsentrasi Awal 75 ppm 51
10. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Konsentrasi Awal 100 ppm 52
11. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Konsentrasi Awal 125 ppm 53

Lampiran B. Data Pendukung Penyisihan Remazol Black B 54
1. Pembuatan NaOH 1 M, 10 mL 54
2. Pembuatan Larutan Induk Remazol Black B 54
3. Pembuatan Kurva Kalibrasi Remazol Black B 54
4. Pembuatan Larutan Pewarna Sintetis Remazol Black B 56
5. Perhitungan Persen Penyisihan Remazol Black B 57
6. Perhitungan Perubahan Massa Anoda 58
7. Data Hasil Pengukuran pH Tiap Interval Waktu 59
8. Data Hasil Pengukuran Arus Tiap Interval Waktu 60

Lampiran C. Dokumentasi Penelitian 61

DAFTAR SIMBOL

Besaran	Satuan	Simbol
Absorbansi	-	A
Arus Listrik	Ampere atau A	I
Konsentrasi	Part per Million atau ppm	C
Massa	Gram atau gr	m
Panjang Gelombang	Nanometer atau nm	λ
Tegangan	Volt atau V	V
Temperatur	Derajat Celcius atau °C	T
Waktu	Menit	t

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri batik saat ini berkembang pesat hingga 15% menurut Asosiasi Pertekstilan Indonesia. Sentra batik lokal yang memproduksi batiknya sendiri merupakan salah satu faktor yang membuat pasar batik semakin berkembang (Sembiring, 2017). Dalam pembuatan batik, terdapat proses pewarnaan. Pewarnaan mempunyai pengertian penggunaan pewarna alami maupun sintetis untuk proses pemberian zat warna pada tekstil (Russanti, 2019). Khandare dan Govindwar (2015) menyatakan, industri tekstil merupakan industri yang membuang pewarna dalam jumlah besar. Sekitar 8% air digunakan untuk proses pencetakan dan 16% air untuk proses pewarnaan (Masnesia, 2017). Remazol merupakan zat warna yang umum digunakan untuk pewarnaan dalam industri batik. Digunakan Remazol karena zat ini merupakan bahan utama dalam pewarnaan kain. Karena pewarna adalah unsur yang sangat karsinogenik, pewarna harus dibedakan dan dipisahkan dari air limbah tekstil sebelum dibuang (Nurhaslina, 2014).

Zat warna merupakan senyawa organik yang mengandung gugus kromofor terkonjugasi. Zat warna golongan reaktif merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pewarnaan tekstil. Beberapa zat warna reaktif yang sering digunakan antara lain adalah Remazol Black B. Zat warna reaktif sangat larut dalam air dan tidak terdegradasi pada kondisi aerob biasa. Dampak yang dapat ditimbulkan pada kesehatan antara lain adalah iritasi pada kulit (Widodo dkk, 2008). Penghilangan zat warna pada limbah tekstil menjadi lebih menantang karena lebih kompleks dari waktu ke waktu. Ada berbagai teknik pemisahan yang dapat diaplikasikan untuk pengolahan limbah tekstil, seperti teknik kimiawi dan biologi (Nurhaslina, 2014).

Elektrokoagulasi merupakan proses koagulasi menggunakan arus listrik searah yang mengakibatkan terjadinya reaksi oksidasi-reduksi dalam sistem elektrokimia, sehingga terbentuk flok yang mudah dipisahkan (Lestari dan Tuhu, 2013). Elektrokoagulasi merupakan metode yang mudah dan efisien untuk diaplikasikan dalam pengolahan limbah zat warna karena dapat memflotasikan zat pencemar serta mengurangi penggunaan bahan kimia. Flok yang terbentuk dalam proses ini juga lebih mudah disaring (Khandegar, 2013).

Metode elektrokoagulasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu arus, tegangan, jenis elektroda, konsentrasi awal larutan, jarak elektroda, serta pasivasi elektroda.

Dalam penelitian ini akan digunakan variabel tegangan dan konsentrasi awal larutan pewarna sintetis. Elektroda yang paling umum digunakan adalah aluminium (Al). Elektroda ini telah menunjukkan bahwa mempunyai kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan elektroda jenis *mild steel* dan *stainless steel* pada penelitian-penelitian terdahulu. Ridantami dkk (2016) mengemukakan bahwa semakin tinggi tegangan, efisiensi penurunan limbah akan semakin meningkat. Semakin tinggi tegangan, akan menyebabkan naiknya arus pada proses elektrokoagulasi, karena arus berbanding lurus dengan tegangan sesuai dengan hukum Ohm, yaitu I = V/R.

Penelitian terdahulu dilakukan oleh Ghalwa dkk (2016) untuk menghilangkan Reactive Red 24 dengan metode elektrokoagulasi digunakan elektroda besi dan aluminium. Variasi yang dilakukan antara lain pH awal (1,5; 4,3; 7,2; 8,3; dan 10,7), konsentrasi elektrolit NaCl (0,05 g/L; 0,15 g/L; 0,25 g/L; 0,35 g/L; dan 0,45 g/L), dan konsentrasi awal limbah (20 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L, dan 300 mg/L) menggunakan konfigurasi monopolar paralel, jarak elektroda 0,8 cm, dan ukuran elektroda 2 cm x 1 cm. Penyisihan optimal diperoleh dengan konsentrasi awal 100 mg/L; pH 7,2; dan konsentrasi NaCl 2,5 g/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyisihan pewarna dan COD adalah 99,6% dan 91,5% dengan menggunakan besi dan 97,9% dan 83,8% dengan menggunakan elektroda aluminium.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Setianingrum dkk (2016) untuk menyisihkan Remazol Red RB dengan elektroda Al-Al serta konsentrasi awal larutan 100 mg/L. Variasi yang digunakan adalah tegangan sebesar 10 V dan 15 V, serta waktu operasi 0 menit; 10 menit; 20 menit; 40 menit; dan 60 menit. Didapatkan efisiensi tertinggi dari kondisi pada tegangan 10 V dan waktu proses selama 60 menit dengan penurunan kadar konsentrasi COD mencapai 99,18%.

Berdasarkan uraian di atas, maka akan dilakukan penelitian metode elektrokoagulasi terhadap penyisihan larutan pewarna sintetis Remazol Black B dengan variasi tegangan sebesar 10 V, 15 V, 20 V, dan 25 V serta variasi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis sebesar 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, dan 125 ppm. Penggunaan variabel tesebut untuk mengetahui persen penyisihan pewarna sintetis Remazol Black B pada larutan dengan metode elektrokoagulasi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana penyisihan zat warna Remazol Black B pada variasi tegangan dengan metode elektrokoagulasi?
2. Bagaimana penyisihan zat warna Remazol Black B pada variasi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis dengan metode elektrokoagulasi?

1.3 Batasan Masalah

1. Pengujian yang dilakukan adalah menguji penyisihan zat warna Remazol Black B dengan metode elektrokoagulasi.
2. Elektrokoagulasi menggunakan sistem *batch*.
3. Sampel yang digunakan berupa larutan pewarna sintetis dari pelarutan Remazol Black B di dalam akuades.
4. Percobaan dilakukan pada suhu ruang dan tekanan atmosfer.
5. Pengukuran efisiensi penyisihan zat warna Remazol Black B dilakukan menggunakan spektroforometer UV-Vis.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh tegangan pada penyisihan zat warna Remazol Black B dengan metode elektrokoagulasi.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi awal larutan pewarna sintetis pada penyisihan zat warna Remazol Black B dengan metode elektrokoagulasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Memberikan solusi alternatif untuk mengatasi masalah lingkungan yang berkaitan dengan penyisihan zat warna dari jenis pewarna Remazol Black B yang sering digunakan pada industri tekstil.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Batik

Limbah adalah suatu bahan yang tidak memiliki nilai ekonomi dan terbuang ataupun dibuang dari sumber hasil aktivitas manusia maupun alam. Limbah juga dihasilkan dari kegiatan-kegiatan skala kecil seperti makan, minum, dan mencuci, sehingga limbah tidak hanya dihasilkan dari kegiatan-kegiatan skala besar seperti industri-industri. Dengan populasi penduduk yang banyak, limbah yang dihasilkan pun semakin banyak (Sunarsih, 2018).

2.1.1 Karakteristik Limbah Cair Industri Batik

Karakteristik limbah cair yang dihasilkan industri tekstil ataupun batik sangat berkaitan dengan bahan-bahan yang digunakan dalam tahapan proses pembuatan. Menurut Indrayani (2019), limbah cair industri batik memiliki karakteristik berwarna keruh, berbusa, pH tinggi, konsentrasi BOD dan COD tinggi, serta terdapat kandungan minyak dan lemak. Sedangkan, berdasarkan proses industri batik, limbah cair batik mempunyai karakteristik sebagai berikut (Indrayani, 2019).

1. Karakteristik fisika yang meliputi padatan terlarut, bau, temperatur, dan warna.
2. Karakteristik kimia meliputi derajat keasaman (pH), konduktivitas, dan kesadahan.
3. Karakteristik biologi mikroorganisme termasuk bakteri, BOD, COD dan partikel-partikel halus organik.

2.1.2 Baku Mutu Limbah Cair Industri Batik

Baku mutu limbah cair untuk industri batik disajikan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku Mutu Limbah Cair Industri Batik

PARAMETER	KADAR MAKSIMUM (mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)
BOD	85	12,75
COD	250	37,5
TSS	60	9,0
Fenol Total	1,0	0,15
Krom Total (Cr)	2,0	0,30
Minyak dan Lemak	5	0,75
pH	6,0 – 9,0	
Debit Limbah Maksimum	150 m^3 per ton produk tekstil	

Sumber: Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1995

Catatan:

1. Kadar maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam miligram parameter per liter air limbah.
2. Beban pencemaran maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam kg parameter per ton produk tekstil.

Dalam Peraturan Daerah (perda) Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) nomor 7 tahun 2016, baku mutu air limbah untuk industri batik adalah 250 ppm COD. Zat warna dengan konsentrasi sebesar 200 ppm mengandung kadar COD sebesar 620,4 ppm (Kumar, 2004).

2.2 Remazol Black B

2.2.1 Sifat Fisika dan Kimia

Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik yang tidak jenuh seperti toluena, fenol, benzena, dan lain-lain. Dalam molekul zat warna, mempunyai gugus kromofor dan gugus auksokrom. Gugus kromofor bertindak sebagai pembawa warna, seperti golongan azo, nitro, nitroso, dan karbonil. Sedangkan gugus auksokrom berperan sebagai pengikat antara warna dengan serat, seperti gugus hidroksil, gugus karboksil, gugus sulfonate, dan lain-lain (Rosyida dan Anik, 2013). Nama dan struktur kimia dari gugus kromofor dijabarkan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nama dan Struktur Kimia Kromofor

Nama Gugus	Struktur Kimia
Nitroso	NO atau (-N-OH)
Nitro	NO_2 atau (NN-OOH)
Grup Azo	-N=N-
Grup Etilen	-C – C -
Grup Karbonil	-C-O-
Grup Karbon - Nitrogen	-C=NH ; CH=N-
Grup Karbon Sulfur	-C=S ; -C-S-S-C-

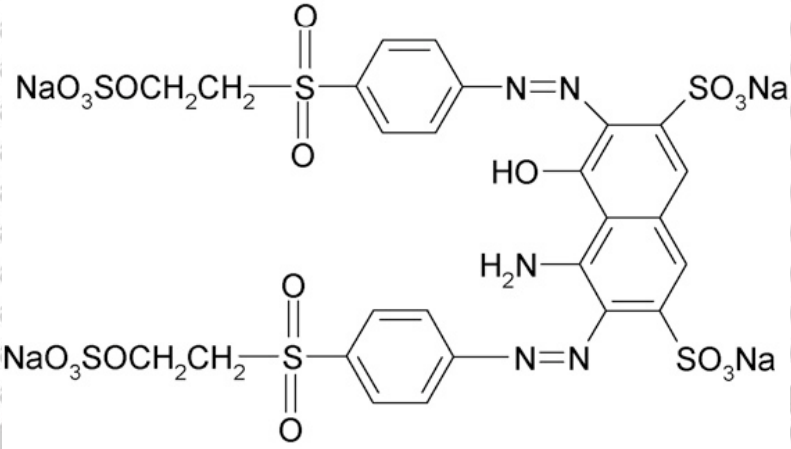
Sumber: Manurung dkk, 2004

Menurut Manurung dkk (2004), gugus auksokrom terdiri dari golongan auksokrom kationik dan auksokrom anionik.

Golongan kation: $-NII_2$; NIIR ; j – NR_2 seperti –NR_2Cl

Golongan anion: $-SO_3H$; -OH ; COOH seperti –O ; $-SO_3$; dan lain-lain.

Remazol Black B memiliki dua kelompok gugus reaktif berupa *sulphatoethylsulphone* dan merupakan zat warna golongan *bifunctional reactive*. Terdapat gugus kromofor dan gugus auksokrom di setiap grup dari gugus-gugus reaktifnya (Ayuni, 2015).



Gambar 2.1 Struktur Molekul Remazol Black B
Sumber: Pubchem, 2018

Gambar 2.1 merupakan struktur molekul dari Remazol Black B. Memiliki rumus molekul $C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{19}S_6$, Remazol Black B termasuk kategori zat warna diazo. Zat warna diazo merupakan senyawa yang mempunyai dua buah gugus kromofor azo (-N=N-) dengan garam sulfonat sebagai gugus auksokromnya. Nama lain yang umum digunakan untuk Remazol Black B adalah *Reactive Black 5*.

Adanya aktivitas aerobik di dalam air dapat menyebabkan terjadinya proses perubahan Remazol Black B. Pada penelitian tahun 2015, Ayuni dkk mengungkapkan bahwa perubahan zat warna azo atau remazol terjadi secara aerobik pada dasar air, sehingga menghasilkan senyawa amina aromatik yang sangat mungkin lebih beracun daripada zat warna azo itu sendiri.

Menurut penelitian tersebut, apabila limbah dari zat warna remazol masuk ke lingkungan manusia, maka akan membahayakan biota air dan kondisi lingkungan sekitar. Air merupakan salah satu bahan pokok kebutuhan manusia, dan ketika limbah zat warna remazol dibuang ke lingkungan yang digunakan untuk konsumsi sehari-hari maka akan dapat menimbulkan akumulasi zat warna remazol dalam tubuh manusia (Ayuni, 2015).

Tabel 2.3 Sifat Fisika dan Kimia Remazol Black B

Sifat	Nilai
Wujud Zat	Padat
Titik Leleh	297ºC
Titik Didih	350ºC
Massa Jenis	220 g/cm^3
Volume Molar	472 cm^3
Berat Molekul	991,8 g/mol

Sumber: Pubchem, 2019

2.2.2 Aplikasi Remazol Black B dalam Industri Batik

Penggunaan Remazol Black B sangat luas dalam industri tekstil. Jenis pewarna remazol ini sangat umum digunakan untuk proses pewarnaan (*dyeing*), dan percetakan (*printing*). Remazol Black B digunakan untuk memberi warna hitam pada bermacam-macam jenis kain (Clark, 2011).

Jika dibandingkan dengan pewarna jenis lain, Remazol Black B merupakan pewarna yang afinitas elektronnya kecil terhadap media (air), sehingga menyebabkan kecenderungan senyawa ini untuk berikatan tidak terlalu baik. Hal ini menyebabkan dalam proses pewarnaan, banyak senyawa pewarna yang terbuang ke lingkungan (Clark, 2011). Untuk mengatasi sifat ini, industri biasanya menggunakan cara kuwasan. Sebelum difiksasi menggunakan natrium silikat atau *waterglass*, kain akan didiamkan selama semalam agar warna meresap rata (Mahreni, 2016).

2.3 Koloid

Koloid adalah suspensi dimana ukuran partikel dari medium terdispersi berukuran sangat kecil (1 – 1000 nm) dan dapat mengabaikan gaya gravitasi, serta interaksi didominasi oleh gaya jangka pendek (*short-range forces*) seperti gaya Van der Waals (Somasundaran, 2004). Gaya tarik menarik antara partikel jauh lebih kecil karena ukuran partikel yang relatif sangat kecil ini jika dibandingkan dengan gaya tolak menolak pada partikel koloid bermuatan listrik (Metcalf dkk, 2003).

Faktor utama yang dapat mengendalikan stabilitas koloid adalah gaya antar partikel. Gaya antar partikel salah satunya adalah gaya Van der Waals (Somasundaran, 2004). Pada partikel koloid yang bermuatan sejenis akan terjadi gaya tolak menolak yang menyebabkan koloid tetap dalam suspensi. Kondisi ini adalah kondisi ketika koloid stabil, sehingga koloid

tidak terpengaruh gaya gravitasi. Sehingga, pemisahan partikel koloid dari air sebagai medium pendispersi perlu dilakukan dengan cara destabilisasi koloid (Hidayati dan Himma, 2018).

Menurut Abe (2019), ketika sebuah fase berkontak pada permukaan dengan fase yang lain, sistem ini disebut dispersi koloid. Partikel-partikel halus dalam dispersi koloid ini disebut fase terdispersi atau dipersoid, dan fase yang ada disekitarnya disebut medium pendispersi. Dispersi koloid adalah suatu sistem dimana fase terdispersi berukuran lebih besar daripada dispersi molecular dan lebih kecil dari dispersi kasar dalam medium terdispersi.

Pada awalnya, partikel-partikel koloid mempunyai muatan yang sejenis yang didapatkan dari ion yang diadsorpsi dari medium pendispersinya. Apabila dalam larutan ditambahkan larutan yang berbeda muatan dengan sistem koloid, maka sistem koloid itu akan menarik muatan yang berbeda tersebut sehingga membentuk lapisan ganda. Lapisan pertama ialah lapisan padat di mana muatan partikel koloid menarik ion-ion dengan muatan berlawanan dari medium pendispersi. Sedangkan lapisan kedua berupa lapisan difusi dimana muatan dari medium pendispersi terdifusi ke partikel koloid. Model lapisan berganda tersebut dijelaskan pada lapisan ganda Stern. Adanya lapisan ini menyebabkan secara keseluruhan bersifat netral.

2.4 Metode Penyisihan Limbah Tekstil

Pada zat warna, tersusun molekul-molekul penyusun zat warna yang terdiri dari molekul organik stabil. Hal ini mengakibatkan limbah cair zat warna sulit untuk diolah, karena molekul-molekul organiknya sulit untuk disingkirkan.

Terdapat tiga metode proses yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah industri tekstil yaitu:

1. Proses Pengolahan Fisika

Pada proses ini, limbah atau pengotor dipisahkan berdasarkan sifat fisiknya. Contoh dari proses ini adalah filtrasi dan sedimentasi. Sedimentasi adalah pemisahan partikel dari air dengan memanfaatkan gaya gravitasi (Siregar, 2005). Filtrasi adalah pemisahan campuran antara fluida dan partikel-partikel padatan dengan cara melewatkan fluida melalui suatu media penyaring (Pinalia, 2011).

2. Proses Pengolahan Biologi

Metode pengolahan biologi dinilai paling ekonomis dibanding dengan metode yang lain, tetapi efisiensi penyisihannya sangat bergantung pada kemampuan mikroorganisme

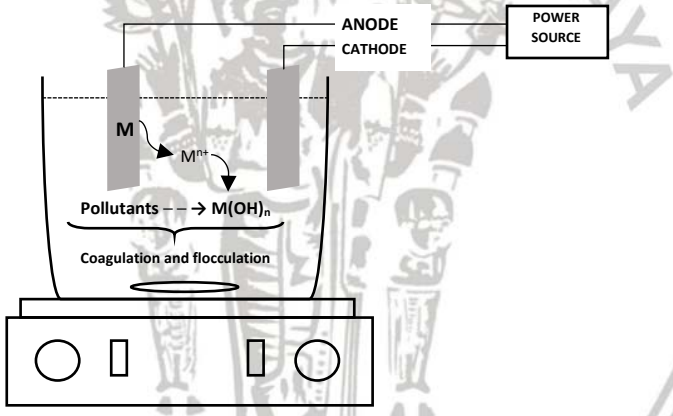
(Megasari, 2012). Pada proses pengolahan limbah dengan metode biologi ini memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk mendegradasi substrat atau pengotor.

3. Proses Pengolahan Kimia

Zat kimia ditambahkan dalam limbah pada proses pengolahan secara kimia ini. Tujuan penambahan zat kimia adalah untuk mengubah kondisi atau sifat dari pengotor. Contoh dari proses ini adalah koagulasi dan flokulasi.

2.5 Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan proses koagulasi menggunakan arus listrik searah yang mengakibatkan terjadinya reaksi oksidasi-reduksi dalam sistem elektrokimia sehingga menyebabkan terbentuknya gumpalan yang mudah dipisahkan (Lestari dan Tuhu, 2013). Pada sel elektrolisis terdapat komponen yang terdiri dari dua jenis elektroda, yaitu anoda dan katoda, serta larutan elektrolit untuk medium pertukaran ion (Hanum, 2015).



Gambar 2.2 Model Sederhana Sel Elektrokoagulasi
Sumber: Dura, 2013

Pengolahan limbah industri dengan metode elektrokoagulasi mengalami peningkatan pesat di negara berkembang. Menurut Lestari dan Tuhu (2013), proses elektrokoagulasi pada limbah cair dapat menyisihkan suspensi, emulsi, dan larutan yang mengandung kontaminan. Metode elektrokoaguasi juga dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan zat warna dalam limbah cair industri (Ciorba dkk, 2001).

Pada teknologi elektrokoagulasi digunakan sel elektrokimia untuk mengolah air limbah. Secara umum, sel elektrokimia terdiri dari anoda dan katoda yang direndam dalam larutan elektrolit. Masing-masing anoda dan katoda dihubungkan pada sirkuit listrik yang meliputi sumber arus dan perangkat kontrol (Lestari dan Tuhu, 2013).

Kelebihan utama metode elektrokoagulasi adalah operasi yang sederhana serta tidak membutuhkan bahan kimia, sehingga dapat menjadi metode alternatif dari koagulasi konvensional (Hidayati dan Himma, 2018). Menurut Rajeshwar (1997), beberapa kelebihan metode elektrokoagulasi juka dibandingkan dengan metode lainnya adalah:

1. *Sludge* yang dihasilkan bersifat lebih hidrofobik dan lebih sedikit
2. Waktu kontak yang relatif cepat
3. Tidak diperlukan kontrol pH
4. Flok yang dihasilkan tahan terhadap asam, serta memiliki kandungan air yang lebih sedikit namun ukuran yang lebih besar, sehingga mudah untuk dipisahkan dengan metode filtrasi
5. Lebih ramah lingkungan (*eco-friendly*) karena tidak membentuk polutan sekunder dan tanpa adanya penambahan bahan kimia
6. Penghilangan flok lebih mudah karena ada gelembung gas yang membawa naik polutan ke permukaan larutan (flotasi)
7. Menghasilkan efisiensi arus yang tinggi pada desain sistem yang tepat
8. Lebih efektif untuk menghilangkan senyawa organik. Air limbah yang dihasilkan jernih, tidak berbau, dan tidak berwarna
9. Metode ini mudah, sederhana, dan cepat untuk dioperasikan dalam skala kecil

Metode ini juga memiliki kekurangan, antara lain (Mollah, 2011):

1. Perlu dilakukan penggantian elektroda secara berkala karena anoda korban (*sacrificial anode*) akan terkikis selama proses elektrokoagulasi
2. Akan terbentuk lapisan film oksida yang rapat (*impermeable*) pada pelat elektroda bagian katoda, sehingga mengurangi efisiensi kerja elektrokoagulasi
3. Pada larutan dengan konduktivitas tinggi, terjadi pemisahan suspensi larutan

Berdasarkan sistem operasinya, proses elektrokoagulasi terbagi menjadi dua, yaitu proses secara *batch* dan secara *flow*. Sistem *batch* merupakan proses elektrokoagulasi yang berlangsung dengan tidak adanya aliran elektrolit, sedangkan sistem *flow* merupakan proses elektrokoagulasi dengan adanya aliran elektrolit (Siringo-ringo, 2013).

2.5.1 Prinsip Elektrokoagulasi

Prinsip kerja elektrokoagulasi adalah logam Fe atau Al digunakan sebagai anoda yang kemudian akan menghasilkan ion logam yang akan terhidrolisis menjadi besi polimer atau aluminium hidroksida. Hidroksida polimerik ini merupakan agen koagulasi yang sangat

baik. Anoda korban (*sacrificial anode*) digunakan untuk terus menghasilkan polimer hidroksida di sekitar anoda. Koagulasi terjadi ketika anion logam ini bergabung dengan partikel negatif yang dibawa ke arah anoda oleh gerakan elektroforesis (Comninellis dan Chen, 2010).

Menurut Comninellis dan Chen (2010), reaksi elektrokoagulasi secara sederhana terdiri atas satu anoda dan satu katoda. Ketika tegangan listrik dialirkan dari sumber arus listrik, maka anoda akan teroksidasi dan pada katoda akan terjadi proses reduksi dimana elemen logam akan terdeposisi. Reaksi elektrokimia dengan anoda logam M dapat ditulis sebagai berikut:

Pada anoda:

$$M_{(s)} \rightarrow M^{n+}_{(aq)} + ne^- \quad (2.1)$$

$$2H_2O_{(l)} \rightarrow 4H^+_{(aq)} + O_{2(g)} + 4e^- \quad (2.2)$$

Pada katoda:

$$M^{n+}_{(aq)} + ne^- \rightarrow M_{(s)} \quad (2.3)$$

$$2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow 2H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)} \quad (2.4)$$

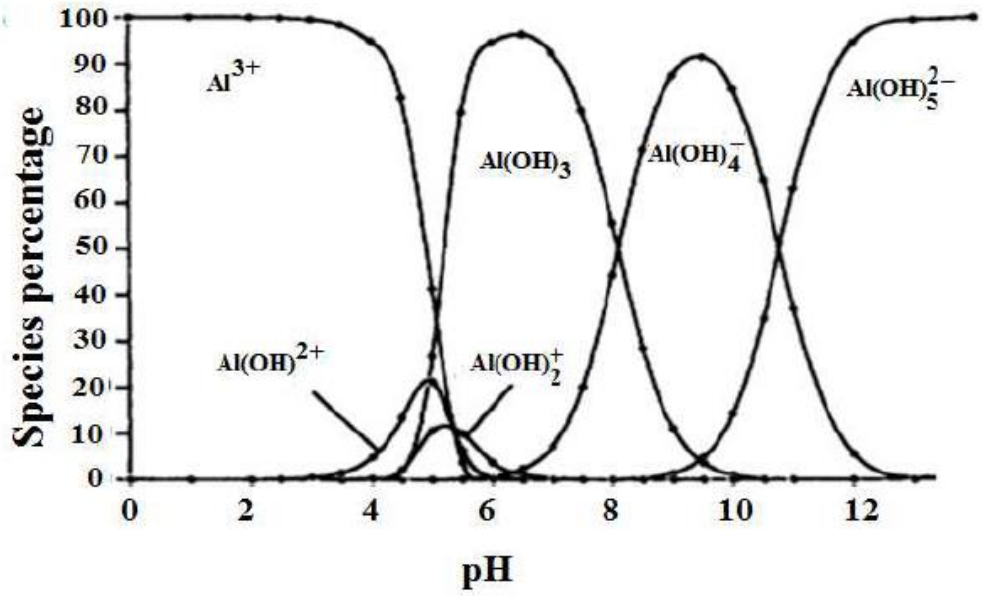
Jika digunakan elektroda Fe atau Al, ion $Fe^{3+}_{(aq)}$ atau $Al^{3+}_{(aq)}$ yang dihasilkan akan mengalami reaksi spontan untuk menghasilkan hidroksida dan atau polihidroksida. Terdapat afinitas yang kuat dalam senyawa-senyawa tersebut untuk partikel-partikel terdispersi serta ion yang berlawanan untuk menghasilkan koagulasi. Gas yang terbentuk pada elektroda akan mengenai dan menyebabkan flotasi pada material yang telah terkoagulasi (Ge, dkk, 2004).

Elektrokoagulasi air limbah mempunyai reaksi utama pada elektroda sebagai berikut (Ghalwa dkk, 2016):

Anoda : $2Al_{(s)} \rightarrow 2Al^{3+}_{(aq)} + 6e^-$ (2.5)

Katoda : $6H_2O_{(l)} + 6e^- \rightarrow 3H_{2(g)} + 6OH^-_{(aq)}$ (2.6)

Reaksi Total : $2Al_{(s)} + 6H_2O_{(l)} \rightarrow 2Al(OH)_{3(s)} + 3H_{2(g)}$ (2.7)



Gambar 2.3 Distribusi Spesi Hidrolisis Aluminium terhadap pH
Sumber: Lekhlif dkk, 2014

Ada dua mekanisme yang terjadi pada penghilangan zat warna, yaitu presipitasi dan adsorpsi. Pada pH rendah, mekanisme presipitasi dominan terjadi, sedangkan pada pH > 6, adsorpsi adalah mekanisme utama (Comninellis dan Chen, 2010).

Presipitasi:

Zat Warna + Monomeric Al → [Zat Warna - Monomeric Al]$_{(s)}$ pH = 4 – 5 (2.8)

Zat Warna + Polymeric Al → [Zat Warna - Monomeric Al]$_{(s)}$ pH = 5 – 6 (2.9)

Adsorpsi:

Zat Warna + $Al(OH)_{3(s)}$ →→→ [Partikel Flok] (2.10)

Zat Warna - Polymeric $Al_{(s)}$ + $Al(OH)_{3(s)}$ →→→ [Partikel Flok] (2.11)

2.5.2 Faktor yang Mempengaruhi Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi dipengaruhi oleh beberapa parameter yang nantinya juga akan berpengaruh terhadap efisiensi proses. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut.

2.5.2.1 Kecepatan pengadukan

Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap kontak antara flok dan aglomerasi selama proses elektrokoagulasi (Parsa, 2011). Menurut penelitian Naje (2015), kecepatan pengadukan dapat menambah laju transfer massa. Namun, tumbukan antar flok dapat terjadi sehingga flok akan terpecah jika kecepatan pengadukan melebihi batas optimum. Tumbukan ini mengakibatkan menurunnya efisiensi penyisihan polutan (Naje, 2015).

2.5.2.2 pH larutan

Efisiensi penyisihan polutan dapat dipengaruhi oleh adanya perubahan pH larutan. Beberapa polutan memiliki pH tertentu untuk dapat mengendap, sehingga jika pH larutan semakin mendekati pH optimasi, maka efisiensi penyisihan polutan akan semakin tinggi (Khandegar, 2013).

2.5.2.3 Tegangan

Semakin tinggi tegangan, efisiensi penurunan polutan semakin meningkat. Hal ini ada hubungannya dengan arus yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi. Naiknya tegangan akan menyebabkan naiknya arus pada proses elektrokoagulasi, karena arus berbanding lurus dengan tegangan sesuai dengan hukum Ohm, yaitu I=V/R (Ridantami dkk, 2016).

2.5.2.4 Densitas Arus

Densitas arus menentukan laju pelarutan logam di dalam air dan densitas produksi gelembung elektrolitik (Kabdasli, 2012). Pembentukan senyawa logam hidroksida akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya densitas arus yang akan meningkatkan oksidasi ion Fe atau Al (Khataee, 2010).

Hal ini juga berkaitan dengan hukum Faraday I, yaitu massa zat yang dibebaskan pada reaksi sebanding dengan jumlah arus listrik dikalikan dengan waktu, dengan rumus yang dituliskan secara umum sebagai berikut (Hayt dan Buck, 2006):

$$w = \frac{e.I.t}{96500} \qquad (2.12)$$

Dimana:

w = Massa zat (gr)

e = Berat ekivalen (gr)

I = Kuat arus (A)

t = Waktu (s)

2.5.2.5 Konsentrasi Awal Larutan

Koagulan memiliki kapasitas yang terbatas untuk mengikat partikel zat warna. Efisiensi penyisihan polutan akan menurun jika konsentrasi awal zat warna meningkat. Hal ini dikarenakan jumlah flok yang dihasilkan tidak cukup untuk mengadsorpsi semua molekul zat pewarna (Kabdasli, 2012).

2.5.2.6 Konduktivitas Larutan

Dalam kondisi tegangan atau kerapatan yang konstan, konduktivitas arus yang tinggi akan meningkatkan kerapatan arus. Semakin tinggi konduktivitas larutan, semakin rendah tegangan yang digunakan sehingga kebutuhan energi akan berkurang (Khandegar, 2013).

2.5.2.7 Jarak antar Elektroda

Aliran arus listrik akan meningkat jika jarak antar elektroda semakin kecil (Kebe, 2018). Sedangkan aliran arus listrik dapat menurun jika jarak antar elektroda semakin besar. Sehingga dibutuhkan tegangan yang lebih besar untuk mendapatkan kerapatan arus yang lebih tinggi (Daneshvar, 2004).

2.5.2.8 Pasivasi Elektroda

Pasivasi elektroda adalah kumpulan sejumlah lapisan penghambat pada logam anoda yang terjadi pada permukaan logam. Pasivasi pada metode elektrokoagulasi dapat meningkatkan pertahanan dan menghambat perpindahan arus antar elektroda, sehingga menyebabkan peningkatan potensial sel (Kabdasli, 2012).

2.5.2.9 Waktu

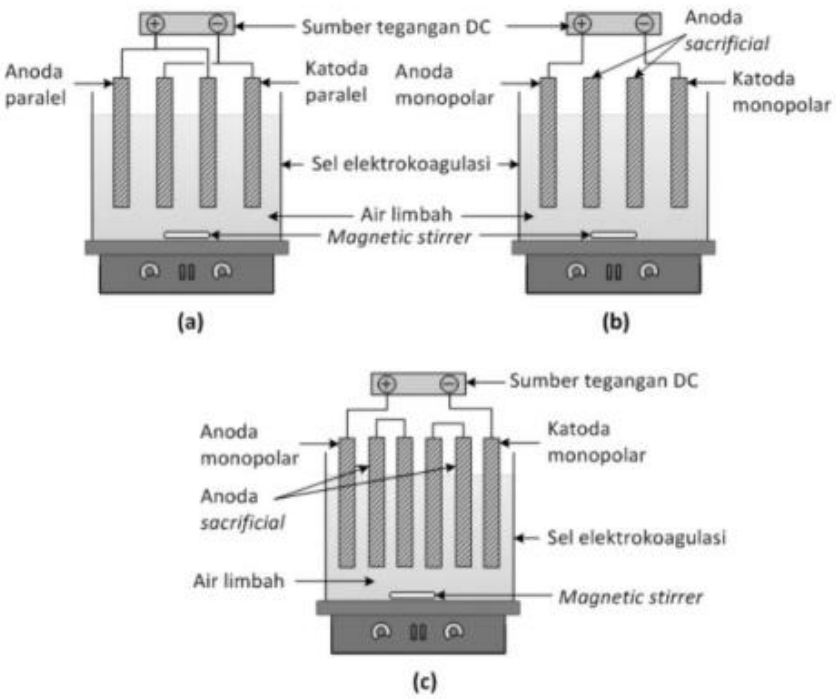
Seiring berjalannya waktu elektrolisis, efisiensi penyisihan polutan akan semakin tinggi. Namun, efisiensi akan tetap konstan atau menurun jika waktu elektrolisis melebihi batas optimum. Jumlah logam hidroksida yang terbentuk berbanding lurus dengan waktu elektrokoagulasi pada kerapatan arus yang sama (Khandegar, 2012).

2.5.2.10 Jenis Logam Elektroda

Pada proses elektrokoagulasi, jenis logam yang umum digunakan sebagai elektroda adalah logam aluminium dan besi karena kedua logam tersebut menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan *stainless steel* (Kabdasli, 2012). Logam besi umumnya digunakan pada pengolahan limbah cair karena harga besi cukup murah, sedangkan elektroda aluminium digunakan dalam pengolahan limbah untuk air minum (Lichtfouse, 2013).

2.5.2.11 Konfigurasi Elektroda

Salah satu faktor penting yang berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan polutan adalah desain reaktor. Reaktor elektrokoagulasi dapat tersusun dari berbagai konfigurasi. Menurut Mollah (2001), untuk anoda dan katoda yang lebih dari satu, elektroda-elektroda dapat disusun dengan berbagai macam konfigurasi seperti monopolar seri (MP-S), monopolar paralel (MP-P), dan bipolar paralel (BP-P). Dalam konfigurasi anoda dan katoda yang dihubungkan secara parallel, arus listrik yang dibagi ke semua elektroda.



Gambar 2.4 Konfigurasi Secara (a) Monopolar Paralel, (b) Bipolar Paralel,,dan (c) Monopolar Seri
Sumber: Hidayati dan Himma, 2018

Beda potensial yang lebih kecil dibutuhkan pada konfigurasi MP-P jika dibandingkan dengan konfigurasi MP-S. Untuk konfigurasi MP-S, tiap pasang *sacrificial electrode* akan dihubungkan secara internal satu sama lain, karena tegangan elektrokoagulasi merupakan penjumlahan dari kebutuhan beda potensial yang dihasilkan pada arus yang diberikan. Pada konfigurasi BP-P, elektroda bagian dalam tidak dihubungkan pada listrik. Akan tetapi hanya elektroda bagian luar yang dihubungkan ke listrik pada power supply. Elektroda terluar adalah monopolar, sedangkan elektroda bagian dalam adalah bipolar (Kobya, 2007).

Menurut Modirshahla (2007), monopolar seri lebih efektif digunakan untuk elektrokoagulasi karena dibutuhkan potensial yang tinggi untuk mecapai densitas tertentu, sehingga dapat memproduksi lebih banyak flok.

2.6 Spektrofotometer UV-Vis

Salah satu metode dalam kimia analisis untuk menentukan komposisi suatu sampel baik secara kuantitatif maupun kualitatif berdasarkan antara materi dengan cahaya dapat dilakukan menggunakan spektrofotometri. Pengukuran spektrofotometri menggunakan alat yang disebut spektrofotometer, sebuah alat yang dapat mengukur transmitan atau absorban suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer UV-Vis mengambil

prinsip spektrofotometri UV dan Visible, dimana digunakan dua sumber cahaya yaitu sumber cahaya UV dan sumber cahaya Visible (Sembiring, dkk, 2019).

Pada umumnya, penerapan spektrofotometri UV-Vis pada senyawa organik didasarkan pada transisi antar tingkat energi elektronik (Gunadi, 2008). Interaksi senyawa organik dengan sinar ultraviolet dan sinar tampak dapat digunakan untuk menentukan struktur molekul senyawa organik. Elektron-elektron yang saling berikatan dan elektron bebas merupakan bagian dari molekul yang paling cepat bereaksi dengan sinar UV. Bila sinar mengenai elektron-elektron tersebut, maka elektron akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Eksitasi elektron-elektron ini direkam dalam bentuk spektrum yang dinyatakan sebagai panjang gelombang dan absorbansi. Semakin banyak elektron-elektron bereksitasi, maka semakin besar panjang gelombang yang diabsorbsi dan makin tinggi absorban yang dihasilkan (Suhartati, 2017). Spektrum UV memiliki panjang gelombang 190 – 400 nm, sedangkan cahaya tampak memiliki panjang gelombang 400 – 800 nm (Rubiyanto, 2017).

Secara garis besar, spektrofotometer UV-Vis terdiri dari sumber cahaya, *recorder*, monokromator, kuvet (tempat sampel), dan *detector*. Biasanya, sampel spektrofotometri UV-Vis berwujud cairan, meski tidak menutup kemungkinan bahwa wujud gas ataupun padatan juga dapat diukur. Sampel diletakkan dalam sel transparan (kuvet) untuk diukur. Radiasi dengan panjang gelombang tertentu akan diabsorpsi secara selektif dan radiasi lainnya akan diteruskan. Intensitas cahaya sebelum melewati sampel (I_0) akan diukur oleh instrumen dan kemudian dibandingkan dengan intensitas cahaya yang melewati sampel (I). Rasio I/I_0 disebut transmitan (T) dan pengukuran spektrofotometer UV-Vis menghasilkan absorbansi (A) larutan yang merupakan logaritma dari 1/T. Hukum Lambert-Beer menentukan hubungan antara absorbansi dan konsentrasi sampel (Gunadi, 2008).

$$A = \varepsilon.b.C. \qquad (2.13)$$

Keterangan:

A = Absorbansi

B = Tebal kuvet (cm)

C = Konsentrasi larutan (M)

ε = Absorptivitas molar (/M.cm)

Dalam Hukum Lambert-Beer, perlu diperhatikan bahwa radiasi yang masuk dalam kuvet adalah monokromatik, dimana dalam proses penyerapan partikel tidak bergantung satu sama lain. Penyerapan terjadi dalam volume yang mempunyai luas penampang yang sama, tenaga radiasi yang cepat, serta indeks bias yang tidak bergantung pada konsentrasi. Namun,

hal tersebut dapat diabaikan jika berada dalam konsentrasi yang terlalu tinggi (Sastrohamidjojo, 2013).

Pada analisis zat warna Remazol Black B, yang berperan dalam pembacaan sinar pada instrumen spektrofotometer UV-Vis adalah gugus kromofor dan gugus auksokrom. Gugus kromofor berperan untuk mengabsorbsi sinar dengan kuat di daerah UV-Vis. Gugus auksokrom terikat pada kromofor yang berperan untuk mengintensifkan absorbsi sinar UV-Vis pada kromofor tersebut, baik panjang gelombang maupun intensitasnya (Suhartati, 2017).

2.7 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No	Larutan	Kondisi Operasi	Hasil	Referensi
1	Pewarna Remazol Black B	• Elektroda Fe-Fe dan Al-Al • C_0 = 200 – 1200 mg/L • pH = 2 – 10 • V = 15 – 30 V • t = 0 – 60 menit	Efisiensi tertinggi didapatkan oleh elektroda Al-Al pada pH 2 dan Fe-Fe pada pH 4, tegangan 30 V, dan konsentrasi 1000 mg/L dengan penyisihan 99% dan 91%.	Sajjadi, S. A. & Irani, M. (2018). Removal of Remazol Black B dye by electrocoagulation process coupled with bentonite as an aid coagulant and natural adsorbent. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment*, *5*(3), 1058-1065.
2	Pewarna Remazol Red RB	• Elektroda Al-Al • C_0 = 100 mg/L • V = 10 V dan 15 V • t = 0, 10, 20, 40, dan 60 menit	Efisiensi tertinggi didapat dari kondisi pada tegangan 10 V dan waktu proses selama 60 menit dengan penurunan kadar konsentrasi COD mencapai 99,18%.	Setianingrum, N. P., Prasetya A., & Sarto. (2016). Pengaruh Tegangan dan Jarak Antar Elektroda terhadap Pewarna Remazol Red Rb dengan Metode Elektrokoagulasi. *Inovasi Teknik Kimia*, 1(2), 93-97.
3	Pewarna Reactive Red 24	• Elektroda Fe-Fe dan Al-Al • pH awal = 1,5; 4,3; 7,2; 8,3; dan 10,7 • C_0 = (20, 50, 100, 200, 300 mg/L)	Efisiensi tertinggi didapat dari kondisi pH awal 7,2, konsentrasi 100 mg/L dengan penyisihan pewarna dan COD sebesar 99,6% dan 91,5% dengan elektroda Fe-Fe dan 97,9% dan 83,8% dengan elektroda Al-Al.	Ghalwa NMA, Saqer AM, Farhat NB (2016) Removal of Reactive Red 24 Dye by Clean Electrocoagulation Process Using Iron and Aluminum Electrodes. *Chem Eng Process Technol*. 7: 269.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian tentang pengaruh variasi tegangan dan konsentrasi awal larutan pewarna sintetis pada proses elektrokoagulasi larutan pewarna sintetis Remazol Black B ini menggunakan metode penelitian secara kuantitatif. Penelitian dilakukan berdasarkan variabel yang telah ditentukan dan bertujuan untuk mengetahui hasil yang diperoleh dari setiap variabel.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian serta analisa data dengan menggunakan UV-Vis dilaksanakan pada bulan Mei – Juni 2020 di Laboratorium Sains Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Variasi tegangan listrik yang digunakan sebesar 10 V, 15 V, 20 V, dan 25 V
- Variasi konsentrasi Remazol Black B pada larutan yang digunakan sebesar 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, dan 125 ppm

Variabel terkontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Volume larutan pewarna sintetis yang digunakan sebesar 200 mL
- Kecepatan pengadukan yang digunakan sebesar 200 rpm
- Lama waktu proses elektrokoagulasi selama 60 menit
- Pelat elektroda yang digunakan berupa aluminium (Al) sebagai anoda dan katoda
- Jarak antar pelat elektroda yang digunakan sebesar 0,5 cm
- Susunan elektroda yang digunakan berupa monopolar seri (MP-S)
- Ukuran elektroda 7 cm x 4 cm

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain *magnetic stirrer*, *power supply DC*, kabel dan penjepit, *beaker glass*, labu ukur, pipet ukur, gelas ukur, *stopwatch*, pH meter, neraca analitik, oven, desikator, dan spektrofotometer UV-Vis.

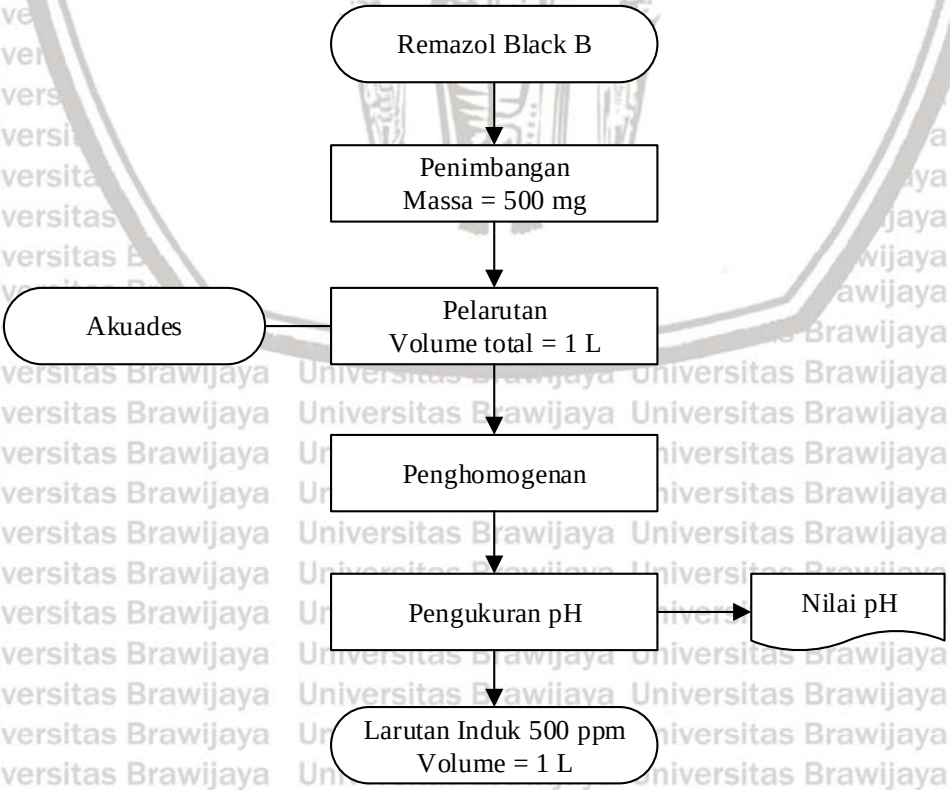
3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain pewarna bubuk sintetis Remazol Black B, pelat elektroda menggunakan aluminium (Al) sebagai anoda dan katoda, NaOH 1 M, aseton, dan akuades.

3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan diantaranya pembuatan larutan induk, pembuatan larutan pewarna sintetis, perlakuan awal elektroda, persiapan rangkaian sel elektrokoagulasi, proses elektrokoagulasi, pembuatan larutan standar, penentuan panjang gelombang maksimum, pengukuran absorbansi larutan standar, pengukuran absorbansi sampel, dan perlakuan akhir elektroda.

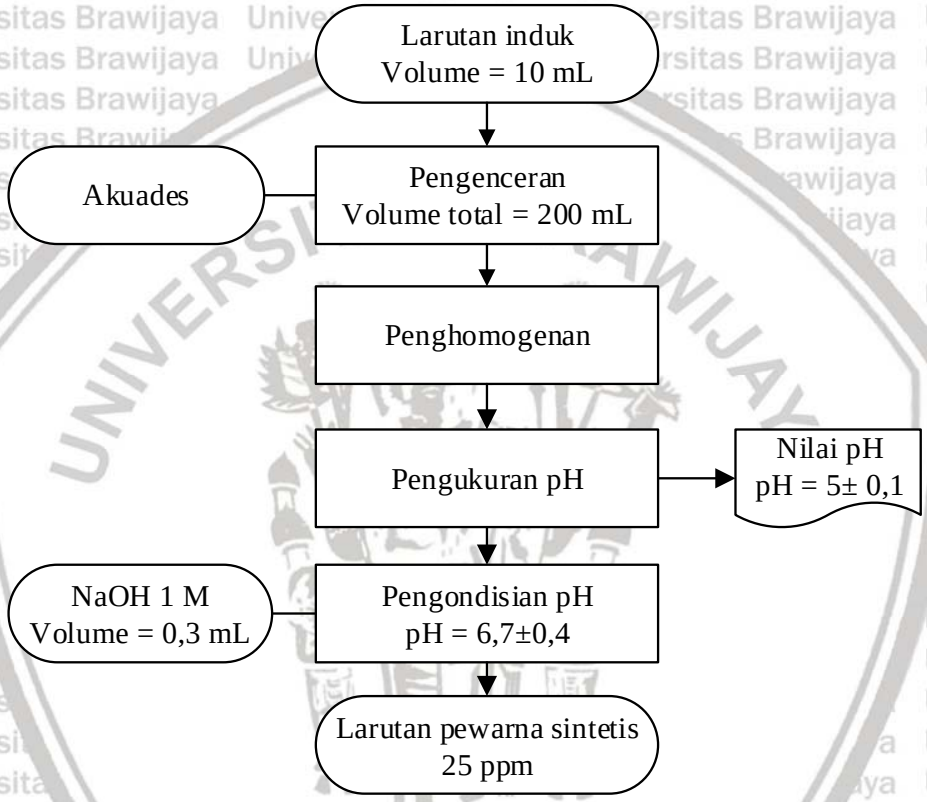
3.5.1 Pembuatan Larutan Induk



Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Larutan Induk

Larutan induk dibuat dari bubuk sintetis Remazol Black B sebanyak 500 mg yang dilarutkan dalam akuades hingga volumenya 1 L untuk memperoleh konsentrasi larutan induk sebesar 500 ppm. Larutan induk digunakan untuk pembuatan larutan pewarna sintetis yang menjadi sampel percobaan elektrokoagulasi serta untuk pembuatan larutan standar yang digunakan untuk membuat kurva kalibarsi spektrofotometri UV-Vis.

3.5.2 Pembuatan Larutan Pewarna Sintetis

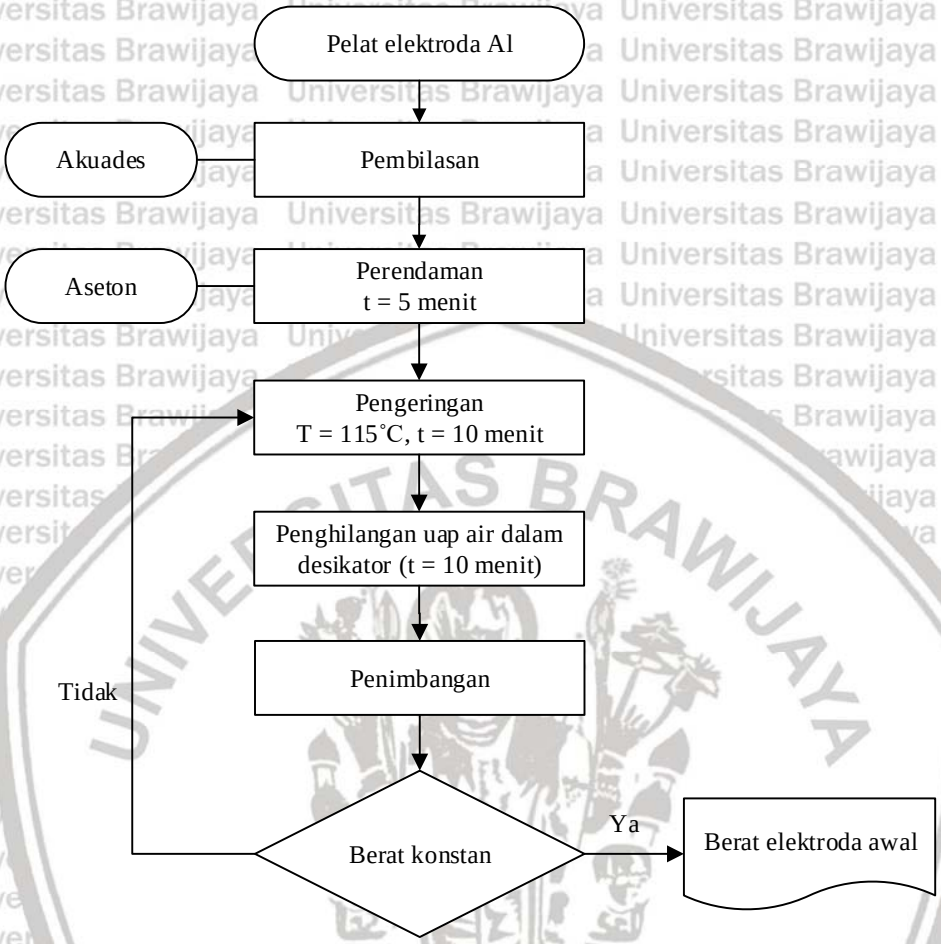


Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Larutan Pewarna Sintetis

Catatan: Prosedur diulangi dengan larutan induk sebanyak 12, 20, 30, 40, dan 50 mL untuk menghasilkan larutan induk 30 ppm dan larutan pewarna sintetis dengan konsentrasi 50, 75, 100, dan 125 ppm.

Pembuatan larutan pewarna sintetis dilakukan dengan pengenceran larutan induk sebanyak 10 mL dengan akuades hingga volume total larutan sebesar 200 mL untuk menghasilkan larutan pewarna sintetis dengan konsentrasi 25 ppm. Pengondisian pH dilakukan dengan penambahan NaOH 1 M hingga nilai pH larutan 6,7±0,4.

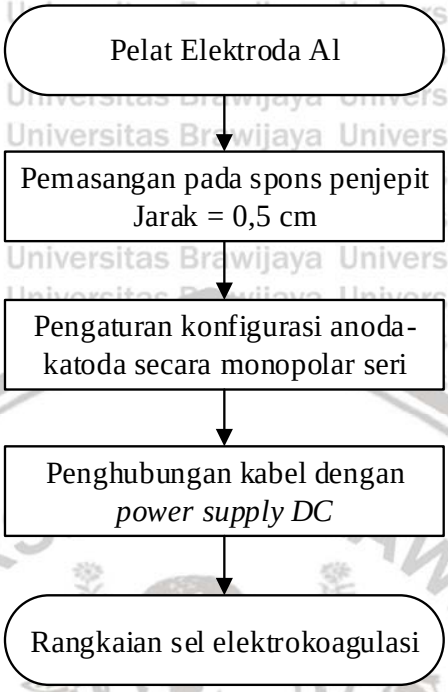
3.5.3 Perlakuan Awal Elektroda



Gambar 3.3 Diagram Alir Perlakuan Awal Elektroda

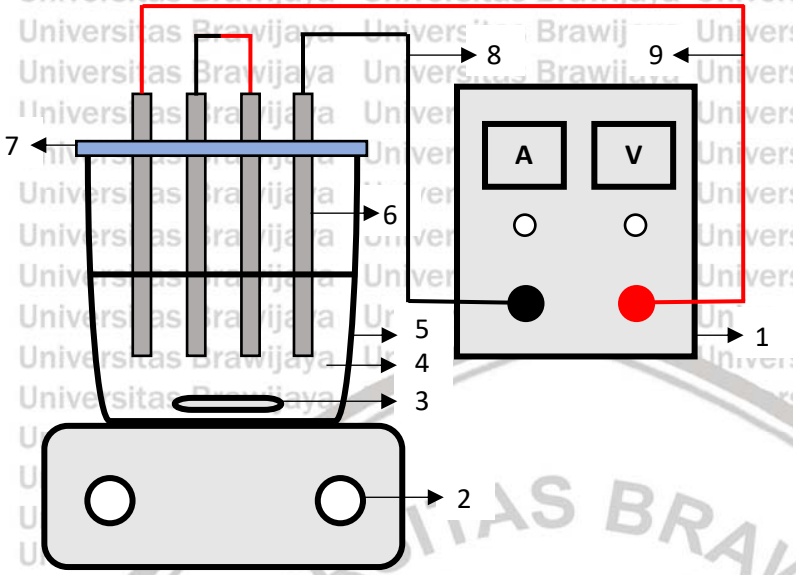
Perlakuan awal elektroda dilakukan dengan pembilasan menggunakan akuades untuk menghilangkan pengotor yang menempel pada permukaan elektroda. Dilakukan perendaman dalam aseton selama lima menit untuk menghilangkan lemak yang menempel pada elektroda. Pengeringan pelat elektroda dengan oven pada suhu 115°C selama 10 menit untuk menghilangkan air yang menempel pada elektroda. Penghilangan uap air dalam desikator selama 10 menit untuk menghilangkan kandungan uap air sisa dari proses pengeringan dengan oven. Penimbangan pelat elektroda dengan neraca analitik hingga mendapatkan berat konstan.

3.5.4 Persiapan Rangkaian Sel Elektrokoagulasi



Gambar 3.4 Diagram Alir Persiapan Rangkaian Sel Elektrokoagulasi

Persiapan rangkaian alat sel elektrokoagulasi dilakukan dengan pemasangan dua pasang pelat elektroda secara monopolar seri pada spons penjepit dengan jarak 0,5 cm antar elektroda. Pelat elektroda dijepit dengan penjepit spons supaya terpasang kuat dan tidak mudah bergeser. Ujung atas elektroda terluar kemudian dihubungkan dengan kabel penghubung, kabel positif (+) untuk anoda dan kabel negatif (-) untuk katoda, sedangkan untuk elektroda yang berada di tengah dihubungkan satu sama lain dengan kabel tanpa dihubungkan pada *power supply DC*. Kabel penghubung elektroda terluar dihubungkan pada *power supply DC*.



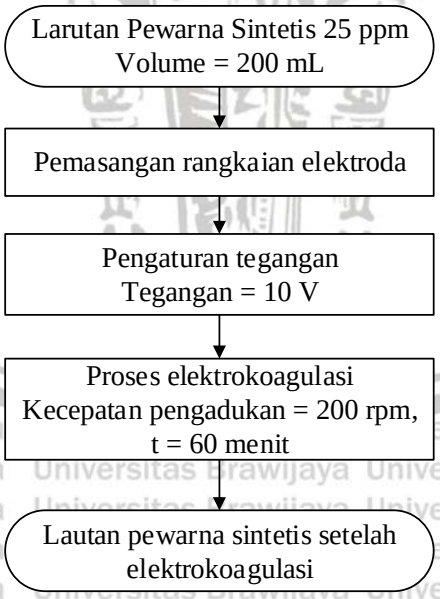
Keterangan:

1. *Power Supply DC*
2. *Digital magnetic stirrer*
3. *Magnetic bar stirrer*
4. Larutan sampel
5. *Beaker glass*
6. Pelat Aluminium
7. Penjepit
8. Kabel negatif
9. Kabel positif

Gambar 3.5 Rangkaian Sel Elektrokoagulasi

3.5.5 Proses Elektrokoagulasi

3.5.5.1 Proses Elektrokoagulasi dengan Variasi Tegangan



Gambar 3.6 Diagram Alir Proses Elektrokoagulasi dengan Variasi Tegangan

Catatan: Prosedur diulangi dengan tegangan sebesar 15 V, 20 V, dan 25 V.

Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan menggunakan larutan pewarna sintetis 25 ppm sebanyak 200 mL dan diletakkan pada sel elektrokoagulasi dengan tegangan diatur sebesar 10 V dan kecepatan pengadukan sebesar 200 rpm. Proses elektrokoagulasi dilakukan selama 60 menit dengan jarak antar pelat elektroda sebesar 0,5 cm, dimana

dilakukan pengambilan sampel setiap 10 menit sebanyak 5 mL. Pada tahapan ini diperoleh tegangan optimum yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi selanjutnya.

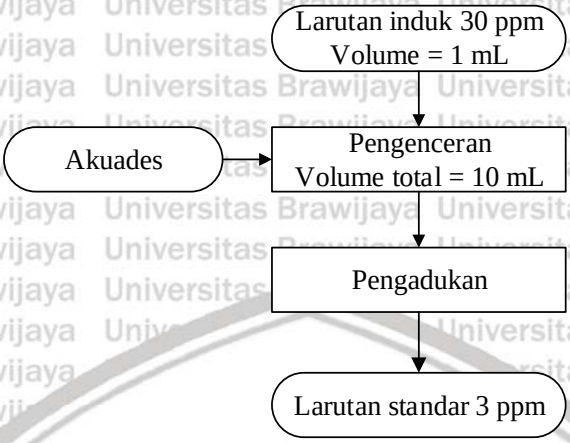
3.5.5.2 Proses Elektrokoagulasi dengan Variasi Konsentrasi Awal Larutan

Gambar 3.7 Diagram Alir Proses Elektrokoagulasi dengan Variasi Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis

Catatan: Prosedur diulangi untuk konsentrasi larutan pewarna sintetis sebesar 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, dan 125 ppm.

Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan menggunakan larutan pewarna sintetis 25 ppm sebanyak 200 mL dan diletakkan pada sel elektrokoagulasi dengan tegangan optimum yang didapatkan dari tahapan sebelumnya dan kecepatan pengadukan sebesar 200 rpm. Proses elektrokoagulasi dilakukan selama 60 menit dengan jarak antar pelat elektroda sebesar 0,5 cm, dimana dilakukan pengambilan sampel setiap 10 menit sebanyak 5 mL.

3.5.6 Pembuatan Larutan Standar

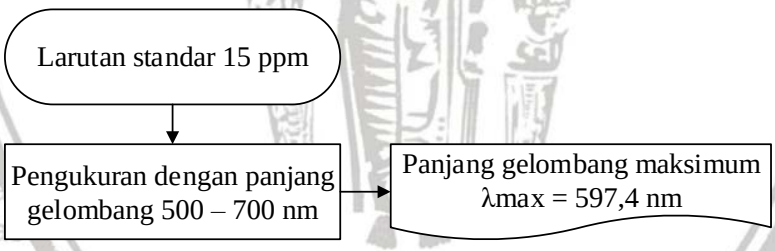


Gambar 3.8 Diagram Alir Pembuatan Larutan Standar

Catatan: Prosedur diulangi dengan penambahan larutan induk 30 ppm sebanyak 2, 3, 4, 5, dan 6 mL pada labu ukur 10 mL untuk menghasilkan larutan standar dengan konsentrasi 6, 9, 12, 15, dan 18 ppm.

Larutan Remazol Black B 0 ppm (larutan blanko) dibuat dengan menggunakan akuades sebanyak 10 mL.

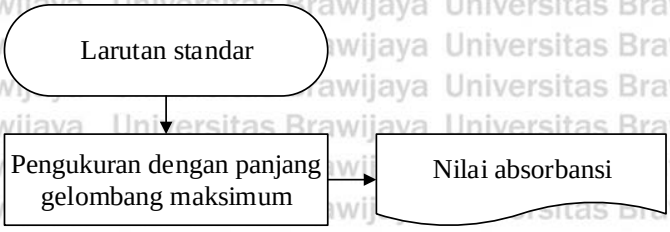
3.5.7 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum



Gambar 3.9 Diagram Alir Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Pengukuran panjang gelombang maksimum dilakukan dengan menggunakan larutan standar 15 ppm. Larutan standar diukur absorbansinya pada rentang panjang gelombang 500 – 700 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan panjang gelombang maksimum sebesar 597,4 nm yang digunakan untuk pengukuran konsentrasi larutan zat warna dalam penelitian ini.

3.5.8 Pengukuran Absorbansi Larutan Standar

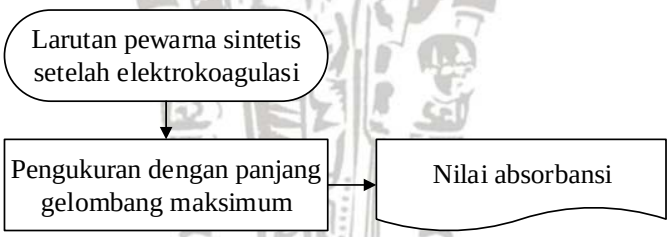


Gambar 3.10 Diagram Alir Pengukuran Absorbansi Larutan Standar

Catatan: Prosedur diulangi untuk larutan standar 3, 6, 9, 12, dan 18 ppm serta larutan blanko.

Pengukuran absorbansi larutan standar dengan panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kurva kalibrasi dibuat dengan memplotkan antara konsentrasi sebagai sumbu x dengan absorbansi sebagai sumbu y. Dari kurva kalibrasi diperoleh persamaan regresi y = 0,016x + 0,0008. Persamaan regresi ini digunakan untuk menentukan konsentrasi dari absorbansi sampel.

3.5.9 Pengukuran Absorbansi Sampel



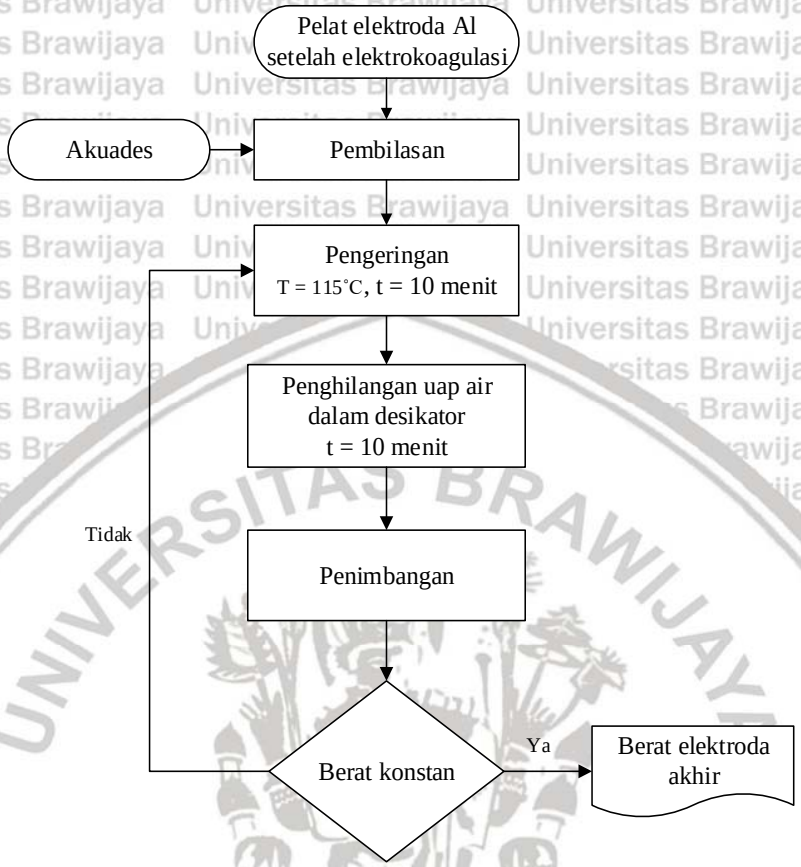
Gambar 3.11 Diagram Alir Pengukuran Absorbansi Sampel

Pengukuran absorbansi sampel digunakan untuk mengetahui nilai absorbansi masing-masing sampel setelah proses elektrokoagulasi. Nilai absorbansi sampel kemudian digunakan dalam perhitungan konsentrasi akhir sampel.

Data absorbansi sampel yang didapat pada prosedur ini akan dimasukkan ke dalam persamaan yang didapat dari kurva kalibrasi, dimana untuk persen penyisihan Remazol Black B dirumuskan sebagai berikut.

$$\%\text{Penyisihan Remazol Black B} = \frac{[\text{Remazol Black B}]\text{awal} - [\text{Remazol Black B}]\text{akhir}}{[\text{Remazol Black B}]\text{awal}} \times 100\%$$

3.5.10 Perlakuan Akhir Elektroda



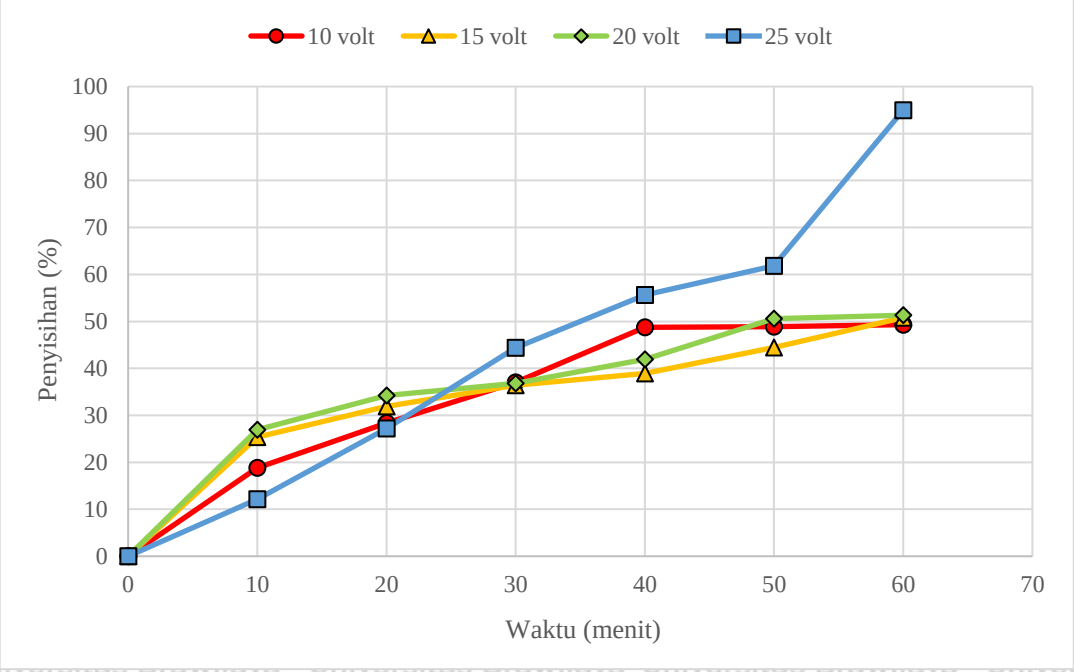
Gambar 3.12 Diagram Alir Perlakuan Akhir Elektroda

Perlakuan akhir elektroda dilakukan dengan pembilasan menggunakan akuades untuk menghilangkan pengotor yang menempel pada permukaan elektroda. Pengeringan pelat elektroda dengan oven pada suhu 115°C selama 10 menit untuk menghilangkan air yang menempel pada elektroda. Penghilangan uap air dalam desikator selama 10 menit untuk menghilangkan kandungan uap air sisa dari proses pengeringan dengan oven. Penimbangan pelat elektroda dengan neraca analitik hingga mendapatkan berat konstan.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Tegangan terhadap Penyisihan Zat Warna

Pada penelitian ini, sampel larutan yang digunakan berupa larutan pewarna sintetis Remazol Black B dengan konsentrasi 25 ppm yang akan dilakukan penyisihan terhadap konsentrasi zat warna tersebut menggunakan proses elektrokoagulasi dengan memvariasikan tegangan. Tegangan yang digunakan pada saat proses elektrokoagulasi adalah 10 V, 15 V, 20 V, dan 25 V yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh tegangan terhadap penyisihan zat warna Remazol Black B selama proses elektrokoagulasi. Pengaruh tegangan terhadap penyisihan zat warna Remazol Black B ditunjukkan dalam grafik antara persen penyisihan dan waktu elektrokoagulasi pada setiap variasi tegangan. Grafik hasil penyisihan konsentrasi zat warna Remazol Black B pada variasi tegangan ini ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik antara Persen Penyisihan terhadap Waktu Proses Elektrokoagulasi pada Variasi Tegangan

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa tegangan memiliki pengaruh dalam penyisihan konsentrasi Remazol Black B selama proses elektrokoagulasi. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi tegangan yang digunakan dapat memberikan kemampuan penyisihan yang semakin baik. Hal ini dikarenakan semakin tinggi tegangan yang digunakan akan meningkatkan densitas arus yang dihasilkan. Densitas arus yang semakin meningkat menyebabkan reaksi oksidasi pada anoda dan reduksi pada katoda akan berjalan semakin cepat sehingga pembentukan spesi koagulan akan semakin cepat dan koagulan yang terbentuk akan semakin banyak (Sajjadi, 2017).

Pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa garis persen penyisihan zat warna antara tegangan 10 V, 15 V, dan 20 V tidak memiliki jarak yang jauh. Perbedaan antar variasi tegangan terlihat jelas pada menit ke-60 proses elektrokoagulasi. Untuk tegangan 25 V, ditandai dengan *slope* yang tajam, dan menghasilkan nilai penyisihan yang cukup tinggi. Akan tetapi pada menit ke-10 dan ke-20 proses elektrokoagulasi, penyisihan pada tegangan 25 V hanya sebesar 12,15% dan 27,22%. Penyisihan pada menit ini lebih rendah dibandingkan dengan penyisihan pada tegangan yang lainnya. Sedangkan ketika proses elektrokoagulasi pada menit ke-30 hingga menit ke-60, penyisihan yang terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan penyisihan pada tegangan yang lainnya. Hal ini dapat terjadi karena nilai pH pada tegangan 25 V mengalami peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan dengan peningkatan nilai pH pada tegangan yang lainnya, dimana pada menit ke-30 dan ke-60 nilai pH pada tegangan 25 V sebesar 7,8 dan 8,8, seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Semua grafik menunjukkan pola yang sama. Penyisihan meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan elektrokoagulasi, dimana 25 V memiliki penyisihan tertinggi pada waktu proses elektrokoagulasi selama 60 menit, yaitu sebesar 94,97%, diikuti dengan tegangan 20 V, 15 V, dan 10 V berturut-turut sebesar 51,31%; 50,79%; dan 49,31%.

Salah satu faktor yang mempengaruhi penyisihan konsentrasi zat warna adalah koagulan yang terbentuk dari disolusi anoda selama proses elektrokoagulasi. Semakin banyak koagulan, flok meningkat dan polutan tersisihkan (Dalvand, 2011). Semakin tinggi kandungan koagulan, endapan yang terbentuk juga akan semakin banyak. Pembentukan endapan pada proses pengolahan larutan akan memicu timbulnya masalah sekunder dan biaya perawatannya dapat melebihi biaya proses elektrokoagulasi itu sendiri (Balik, 2016).

Pada elektroda, anoda akan mengalami reaksi oksidasi membentuk Al^{3+} dan mengikat OH^- membentuk senyawa $Al(OH)_3$ yang dapat mengikat polutan, sedangkan pada katoda akan menghasilkan gas hidrogen yang berfungsi untuk mengangkat flok yang terbentuk

keatas permukaan, flok yang terbentuk semakin lama akan bertambah besar (Ni'am dkk, 2017). Reaksi oksidasi dan reduksi yang berlangsung pada anoda dan katoda mengikuti persamaan reaksi sebagai berikut (Canizares dkk, 2007).

Pada Anoda:

$$Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^- \quad (4.1)$$

$$Al^{3+}_{(aq)} + 3OH^-_{(aq)} \rightarrow Al(OH)_{3(s)} \quad (4.2)$$

Pada Katoda:

$$3H_2O_{(l)} + 3e^- \rightarrow {}^3/_2H_{2(g)} + 3OH^- \quad (4.3)$$

Nilai potensial reduksi standar dari Al adalah -1,66 V, sedangkan nilai potensial reduksi standar H_2O adalah -0,83 V. Semakin tinggi nilai potensial reduksi standarnya maka semakin besar kecenderungan zat untuk tereduksi (Chang, 2003). Nilai potensial reduksi standar Al lebih rendah dari H_2O, sehingga kecenderungan Al untuk tereduksi lebih kecil dibandingkan H_2O dan Al akan lebih cenderung teroksidasi.

Untuk dapat terjadi proses elektrokoagulasi, maka perlu diberikan potensial atau tegangan dari luar. Jika potensial sel terlalu besar, maka elektron yang berjalan antara kedua elektroda dapat melakukan kerja listrik yang besar. Sebaliknya, jika potensial sel kecil maka elektron dalam jumlah sama hanya dapat melakukan kerja listrik yang kecil. Nilai potensial sel yang didapatkan melalui persamaan Nernst menunjukkan semakin tinggi tegangan yang digunakan potensial selnya semakin rendah, sehingga reaksi

Ion Al^{3+} yang dilepaskan pada anoda dapat bereaksi dengan ion OH^- membentuk $Al(OH)_3$ dan membentuk flok-flok dengan partikel-partikel koloid dari larutan. Menurut Lekhlif dkk (2014), spesi koagulan $Al(OH)_3$ umumnya terbentuk pada pH 6,5 – 8, dimana mekanisme utama yang terjadi adalah adsorpsi. $Al(OH)_3$ memiliki daerah permukaan besar yang membantu adsorpsi senyawa larut (organik) dan partikel koloid yang tinggi (Naje, 2015). Flok-flok ini perlahan-lahan akan mengendap di dasar gelas beaker. Sedangkan reaksi reduksi yang terjadi pada katoda menghasilkan gas hidrogen (H_2) yang membawa koloid-koloid zat pengotor naik ke permukaan gelas beaker (proses flotasi) (Heri dan Harsanti, 2010). Hal ini ditandai dengan adanya gelembung atau buih yang banyak. Semakin lama proses elektrokoagulasi berlangsung maka akan semakin banyak koloid-koloid yang terikat membentuk flok-flok berukuran besar. Spesi $Al(OH)_3$ yang terbentuk memiliki luas permukaan yang lebih besar, sehingga lebih menguntungkan untuk menjerat partikel flok dan koloid yang terbentuk dengan proses sedimentasi atau flotasi (Comninellis dan Chen, 2010).

Selama proses elektrokoagulasi, pH larutan akan mengalami kenaikan seiring berjalannya waktu. Peningkatan nilai pH pada variabel tengangan tiap interval waktu ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perubahan Nilai pH pada Variabel Tegangan Tiap Interval Waktu

No	Tegangan (Volt)	pH pada menit ke-							Penyisihan (%)
		0	10	20	30	40	50	60	
1	10	6,78	6,84	7,2	7,2	7,53	7,56	7,6	49,31
2	15	7,1	7,1	7,3	7,34	7,6	7,9	8,0	50,79
3	20	7,0	7,1	7,1	7,2	7,4	8,2	8,5	51,31
4	25	6,9	7,2	7,4	7,8	8,4	8,7	8,8	94,97

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa tiap variabel tegangan memiliki rentang pH proses yang berbeda dan persen penyisihan yang berbeda. Secara keseluruhan pH dari tiap variabel mengalami kenaikan. Kenaikan nilai pH terjadi pada seluruh perlakuan sejalan dengan bertambahnya lama waktu perlakuan. Peningkatan nilai pH yang terjadi disebabkan karena pada proses elektrokoagulasi terjadi reduksi air membentuk gas H_2 dan ion OH^-. Katoda pada proses elektrokoagulasi menghasilkan ion OH^- yang akan menaikkan nilai pH. Nilai pH larutan juga mempengaruhi jumlah ion dalam larutan dan kelarutan dari produk yang dibentuk. pH larutan mempengaruhi secara keseluruhan efisiensi dan efektifitas elektrokoagulasi (Ni'am dkk, 2017).

Selama proses elektrokoagulasi, ada ion H^+ bebas yang terbentuk, dan ion H^+ ini meningkatkan konduktivitas larutan sampel. Pada pH basa, akan ada ion OH^-. Namun ion OH^- yang terbentuk ini akan terus bereaksi dengan ion logam untuk menghasilkan spesi koagulan yang menyebabkan arus yang didapat semakin kecil.

Ketika terjadi disolusi anoda, ion positif yang dihasilkan akan menetralkan muatan partikel kolid yang memiliki muatan berlawanan karena adanya gaya tarik elektrostatik dan *Van der Waals* (Metcalf dan Eddy, 2003). Terjadi netralisasi muatan koloid dimana zat warna koloid pada larutan cair umumnya bermuatan negatif, sehingga menurunkan nilai dari stabilitas koloid (Hidayati dan Himma, 2018).

Dapat dilihat pada tabel 4.1 bahwa semakin tinggi tegangan menyebabkan pH akhir tiap variasi tegangan semakin meningkat. Berdasarkan hukum Ohm, naiknya tegangan akan menyebabkan naiknya arus pada proses elektrokoagulasi, karena arus berbanding lurus dengan tegangan (Ridantami dkk, 2016). Naiknya arus dipengaruhi oleh jumlah elektron yang dihasilkan selama reaksi oksidasi di anoda. Semakin banyak elektron yang

dihasilkan maka besar arus yang dihasilkan juga akan semakin besar (Young, 2004). Hubungan antara arus dan jumlah elektron ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$I = \frac{n.e}{t} \qquad (4.4)$$

Dimana I merupakan arus listrik (A), n merupakan jumlah elektron, e merupakan muatan elektron, dan t adalah waktu (s) (V.S Bagotsky, 2006).

Semakin tinggi tegangan, maka kuat arus yang terukur juga akan semakin tinggi, sehingga akan mempengaruhi banyaknya elektron yang dihasilkan selama reaksi oksidasi di anoda. Banyaknya elektron ini berbanding lurus dengan nilai arus. Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran arus pada tegangan 20 V dan 25 V pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengukuran Arus pada Tegangan 20 V dan 25 V

No	Tegangan (Volt)	Arus (A) pada menit ke-							Penyisihan (%)
		0	10	20	30	40	50	60	
1	20	1,73	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74	51,31
2	25	1,78	1,78	1,78	1,79	1,79	1,79	1,79	94,97

Menurut Comninellis dan Chen (2010), densitas arus pada proses elektrokoagulasi berpengaruh terhadap pembentukan koagulan dari anoda yang terlarut. Anoda terlarut yang dihasilkan selama proses elektrokoagulasi dapat dirumuskan melalui turunan persamaan hukum Faraday berikut:

$$W = \frac{I.t.M}{N.f} \qquad (4.5)$$

Dimana W merupakan banyaknya massa elektroda terlarut (gr), *I* merupakan arus (A), *t* adalah waktu (s), *f* adalah konstanta Faraday sebesar 96500 C/mol, *M* adalah massa molar elektroda dan *n* adalah bilangan elektron pada reaksi oksidasi dan reduksi. Dari persamaan ini menunjukkan bahwa pada proses elektrokoagulasi, arus akan berbanding lurus dengan massa anoda terlarut. Berikut tabel data perubahan massa anoda terlarut.

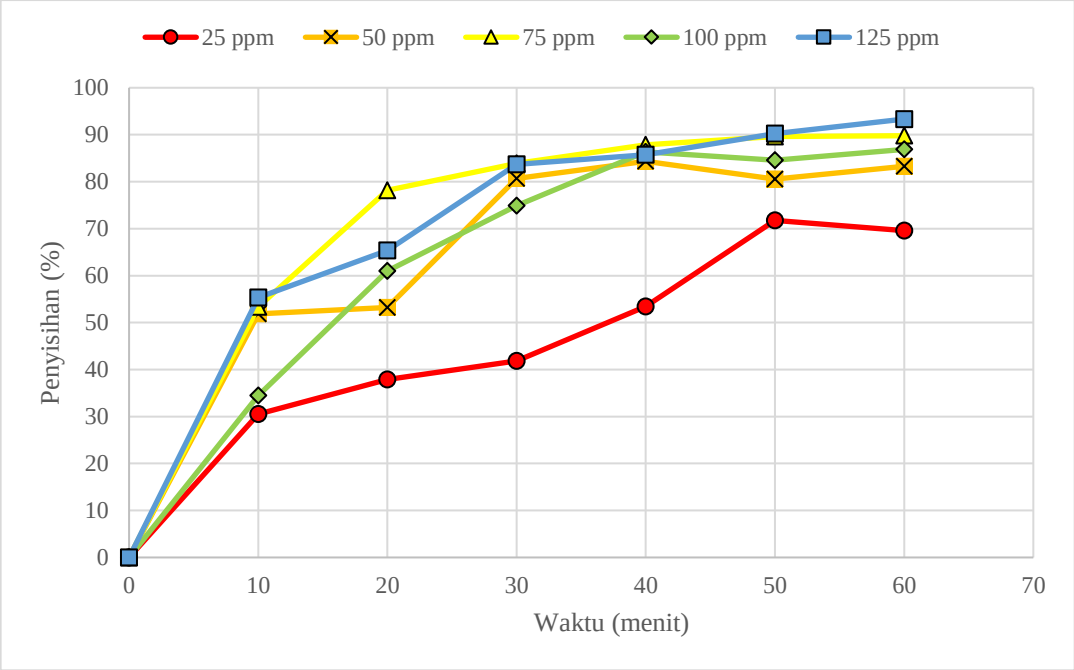
Tabel 4.3 Perubahan Massa Anoda pada Variabel Tegangan

Tegangan	Anoda 1		Anoda 2	
(Volt)	Awal	Akhir	Awal	Akhir
10	7,26	7,25	7,15	7,14
15	7,10	7,09	6,99	6,98
20	7,21	7,20	7,17	7,15
25	7,18	7,16	7,25	7,23

Secara teoritis, nilai arus akan berbanding lurus dengan massa anoda terlarut. Pada hasil penelitian, semakin tinggi tegangan maka semakin besar massa anoda terlarut. Semakin banyak massa anoda yang berkurang, maka semakin banyak koagulan yang dikeluarkan menuju larutan. Anoda akan terdisolusi menjadi ion Al^{3+} yang akan bereaksi dengan ion OH^- dari hasil reaksi reduksi di katoda membentuk $Al(OH)_3$ sebagai koagulan yang akan berikatan dengan partikel zat warna. Anion pada partikel zat warna yang berupa SO_3^{2-} akan megikat kation $Al(OH)_3$ hingga terbentuk endapan yang dapat dipisahkan dari larutan. pH juga berpengaruh dalam proses pelarutan anoda. Pada penelitian ini, elektroda yang digunakan adalah elektroda aluminium (Al), dimana Al cenderung mudah bereaksi pada kondisi pH 6,5 – 8. Anoda terlarut tersebut akan membentuk koagulan yang berperan dalam penyisihan larutan zat warna Remazol Black B.

4.2 Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis terhadap Penyisihan Zat Warna

Pada penelitian ini, dengan tegangan optimum yang didapatkan yaitu 25 V dilakukan proses elektrokoagulasi dengan variasi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis. Variasi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis Remazol Black B yang digunakan adalah 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, dan 125 ppm yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal larutan pewarna sintetis terhadap penyisihan zat warna Remazol Black B. Pengaruh konsentrasi awal pewarna sintetis terhadap penyisihan zar warna Remazol Black B ditunjukkan dalam grafik antara persen penyisihan dan waktu elektrokoagulasi pada setiap variasi konsentrasi awal pada tegangan optimum. Grafik hasil penyisihan konsentrasi zat warna Remazol Black B pada variasi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis ini ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik antara Persen Penyisihan terhadap Waktu Proses Elektrokoagulasi pada Variasi Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis

Berdasarkan pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa konsentrasi awal larutan pewarna sintetis memiliki pengaruh dalam penyisihan konsentrasi Remazol Black B selama proses elektrokoagulasi. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis yang digunakan mengakibatkan kenaikan penyisihan Remazol Black B pada tegangan yang sama. Hal ini dikarenakan semakin tingginya konsentrasi awal larutan menyebabkan meningkatnya interaksi antara koagulan dengan partikel zat warna dalam larutan. Menurut *dilute solutions theory*, pada larutan dengan konsentrasi rendah terjadi pembentukan lapisan difusi di sekitar elektroda yang dapat menyebabkan laju reaksi berjalan lambat. Sedangkan pada larutan terkonsentrasi, lapisan difusi tidak berpengaruh pada laju penyebaran ion logam pada permukaan elektroda (Sajjadi, 2017).

Grafik pada gambar 4.2 mempresentasikan bahwa penyisihan Remazol Black B pada tiap variasi konsentrasi awal mengalami peningkatan seiring dengan berjalannya waktu elektrokoagulasi. Jumlah logam hidroksida yang terbentuk berbanding lurus dengan waktu elektrokoagulasi (Khandegar, 2012). Semakin lama waktu proses elektrokoagulasi maka koagulan yang terbentuk akan semakin banyak sehingga partikel zat warna yang terdestabilisasi juga akan semakin banyak.

Berdasarkan pada tabel 4.4, penyisihan tertinggi pada proses elektrokoagulasi selama 60 menit dengan variasi konsentrasi awal larutan pada tegangan optimum didapatkan pada

larutan dengan konsentrasi awal 125 ppm yaitu sebesar 93,33%, sementara penyisihan terendah didapatkan pada konsentrasi awal 25 ppm yaitu sebesar 69,55%. penyisihan pada konsentrasi awal 50 ppm sebesar 83,27%, diikuti dengan meningkatnya penyisihan pada konsentrasi awal 75 ppm yaitu sebesar 89,79%. Namun penyisihan pada konsentrasi awal 100 ppm tidak lebih tinggi daripada konsentrasi awal 75 ppm, yaitu sebesar 86,87%. Hal ini dapat terjadi karena nilai pH pada konsentrasi awal 100 ppm lebih rendah daripada konsentrasi awal 75 ppm.

Nilai pH larutan dapat mempengaruhi penyisihan. Semakin pH larutan mendekati pH optimasi, maka efisiensi penyisihan akan semakin tinggi (Khandegar, 2013). Dapat dilihat pada tabel 4.4, sama halnya seperti pada penelitian sebelumnya, pH larutan larutan mengalami kenaikan seiring berjalannya waktu proses elektrokoagulasi. Nilai pH yang mengalami kenaikan ini dikaitkan dengan pembentukan ion hidroksida (OH^-) dari reaksi reduksi air pada katoda (Ahmed, 2015). Nilai pH pada konsentrasi awal 100 ppm tiap interval waktu 10 menit tidak lebih tinggi daripada konsentrasi awal 75 ppm.

Tabel 4.4 Perubahan Nilai pH pada Variabel Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis Tiap Interval Waktu

No	Konsentrasi (ppm)	pH pada menit ke-							Penyisihan (%)
		0	10	20	30	40	50	60	
1	25	6,7	7,3	7,6	7,9	8,1	8,1	8,1	69,55
2	50	6,86	7,66	7,82	7,92	8,10	8,12	8,20	83,27
3	75	7,00	7,88	8,12	8,14	8,14	8,14	8,29	89,79
4	100	6,30	7,59	7,73	7,86	7,90	7,93	7,96	86,87
5	125	6,9	7,4	8,3	8,6	8,7	8,8	8,8	93,33

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa tiap variasi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis memiliki rentang pH proses yang berbeda dan persen penyisihan yang berbeda. Secara keseluruhan pH dari tiap variabel mengalami kenaikan. Selama proses elektrokoagulasi nilai pH mengalami kenaikan yang disebabkan oleh reaksi reduksi pada katoda yang membentuk gas hidrogen dan ion hidroksida.

Apabila ditinjau dari tabel 4.4, pH akhir pada tiap variasi konsentrasi awal mengalami peningkatan dengan semakin meningkatnya konsentrasi pewarna. Namun, pH akhir pada konsentrasi awal 100 ppm tidak lebih tinggi dibandingkan dengan pada konsentrasi awal 75 ppm yang mengakibatkan penyisihan pada konsentrasi awal 100 ppm tidak lebih tinggi daripada konsentrasi awal 75 ppm.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Penelitian Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar Seri untuk Penyisihan Remazol Black B dengan Variasi Tegangan dan Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis, dapat disimpulkan hasil sebagai berikut.

1. Penyisihan Remazol Black B meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan pada proses elektrokoagulasi selama 60 menit. Didapatkan penyisihan optimal pada tegangan 25 V sebesar 94,97%, diikuti dengan tegangan 20 V, 15 V, dan 10 V dengan penyisihan berturut-turut sebesar 51,31%; 50,79%; dan 49,31%.
2. Penyisihan Remazol Black B meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal larutan pewarna sintetis pada proses elektrokoagulasi selama 60 menit. Dengan tegangan 25 V, didapatkan penyisihan optimal sebesar 93,33% pada konsentrasi awal pewarna sintetis 125 ppm.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian ini, dapat disarankan beberapa hal terkait dengan penelitian ini sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemilihan bahan sintesis Remazol Black B.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai uji kekeruhan (NTU *test*).
3. Perlu dilakukan peninjauan lebih lanjut mengenai flok yang terbentuk.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Abe, Masahiko. 2019. *Measurement Techniques and Practices of Colloid and Interface Phenomena*. Singapore: Springer.

Ayuni, N.P. 2015. Kajian Transpor Zat Warna Azo Jenis Remazol Black B Menggunakan Membran Kitosan. *Jurnal Lingkungan Tropis*. Vol 9 No 1.

Chang, Raymond. 2003. Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 2. Jakarta: Erlangga.

Ciorba, George & Radovan, Ciprian & Vlaicu, Ilie & Iovi, Aurel. 2001. *Colour Removal from Simulated Dye Wastewaters by Electrochemical Treatment*. Proc Electrochem Soc. 23.

Clark, M. 2011. *Handbook of Textile and Industrial Dyeing Vol. 2*. New Delhi: Woodhead.

Comninellis, Christos dan Guohua Chen. 2010. *Electrovhemistry for the Environment*. New York: Springer.

Daneshvar, N., Sorkhabi, H. A., Kasiri, M. B. 2004. Decolorization of dye solution containing Acid Red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connections. *Journal of Hazardous Material 112*. P 55-62.

Dura, Adelaide. 2013. *Electrocoagulation for Water Treatment: the Removal of Pollutants using Aluminium Alloys, Stainless Steels and Iron Anodes*. PhD thesis. Ireland: National University of Ireland Maynooth.

Ge, J., Qu, J., Lei, P., Liu, H. 2004. *New Bipolar Electrocoagulation-electroflotation Process for the Treatment of Laundy Wastewater*. Separation and Purification Technology.

Ghalwa, Nasser M. Abu., Saqer, Alaa M., Farhat, Nader B. 2016. *Removal of Reactive Red 24 Dye by Clean Electrocoagulation Process Using Iron and Aluminum Electrodes*. Palestine: Al-Azhar University http://dx.doi.org/10.4172/2157-7048.1000269.

Gunadi, Natalia. 2008. *Electrocoagulation for Water Treatment: The Removal of Pollutant using Aluminium Alloys, Stainless Steel and Iron Anodes*. Depok: FMIPA UI.

Hanum, F., Tambun, R., Ritonga, M. Y., Kasim, W. 2015. Aplikasi Elektrokoagulasi dalam Pengolahan Larutan Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Ilmiah*, 4(1).

Hidayati, A. S. Dwi Saptati Nur dan Nurul F Himma. 2018. *Perlakuan Fisiko-Kimia Larutan Cair Industri*. Malang: UB Press.

Indrayani, Lilin. 2019. *Teknologi Pengolahan Larutan Cair Batik dengan IPAL BBKB Sebagai Salah Satu Alternatif Percontohan bagi Industri Batik*. ISSN 1693-4392. Yogyakarta: UPN Veteran Yogyakarta.

Hoyt, William H., dan John A. Buck. 2006. *Elektromagnetika Ed. 7*. Jakarta : Erlangga.

Kabdaşlı, I. Arslan-Alaton, T. Ölmez-Hancı & O. Tünay. 2012. Electrocoagulation applications for industrial wastewaters: a critical review. *Environmental Technology Reviews*. 1:1, 2-45.

Kebe, Cheikh M. F., Gueye, Assane., Ndiaye, Ababacar. 2018. *Innovation and Interdisciplinary Solutions for Underserved Areas: Modelling the Crystal Violet Kinetics Removal by Electrocoagulation Process for Wastewater Treatment*. Senegal: Springer.

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 1995. *Baku Mutu Larutan Cair Bagi Kegiatan Industri*. Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995.

Khandare, R.V. and Govindwar, S.P. 2015. Phytoremediation of Textile Dyes and Effluents: Current Scenario and Future Prospects. *Biotechnology Advances*. 33, 1697-1714.

Khandegar, V & Saroha, Anil. 2013. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent - A review. *Journal of environmental management*. 128C. 949-963. 10.1016/j.jenvman.2013.06.043.

Khataee, R., Zarei, M., Pourhassan, M. 2010. *Clean Soil Air Water*. P 38, 96.

Kobya, M., Can, O. T., Bayramoglu, M. 2003. Treatment of Textile Wastewaters by Electrocoagulation Using Iron and Aluminum Electrodes. *Journal of Hazardous Materials*. B100 p 1-10.

Kumar, P & Chaudhari, Sanjeev & Khilar, Kartic & Mahajan, S. (2004). Removal of Arsenic from Water by Electrocoagulation. *Chemosphere*. 55. 1245-52. 10.1016/j.chemosphere.2003.12.025.

Lestari, Novianti Dwi dan Tuhu Agung. 2013. Penurunan TSS dan Warna Larutan Industri Batik Secara Elektrokoagulasi. Jawa Timur: UPN "Veteran" Jatwa Timur. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. Vol. 6 No 1.

Lekhlif, B., Oudrhiri, L., Zidane, F., Drogui, P., dan J. F. Blais. 2014. *Study of the electrocoagulation of electroplating industry wastewaters charged by nickel (II) and chromium (VI)*. ISSN : 2028-2508. Morocco : JMES.

Lichtfouse, E., Jan, S., Didier, R. 2013. *Green Material for Energy, Product, and Depollution*. London: Springer.

Lidiawati, Tuani., Riadi, Lieke., Sanjaya, Liok Dimas., Ferydhiwati, Whenny. 2015. *Pengolahan Larutan Tekstil Menggunakan Elektrokoagulasi*. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan". ISSN 1693-4393.

Mahreni. 2016. *Batik Warna Alami*. Yogyakarta. ISBN : 978-602-60245-6-5.

Manurung, Renita., Hasibuan, Rosdanelli., Irvan. 2004. *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob – Aerob*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Masnesia, Andana. 2017. *Pengolahan Larutan Cair Batik Menggunakan Metode Presipitasi dan Fitoremidiasi*. Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Metcalf, Eddy., Tchobanoglous, George., Burton, Franklin L., Stensel, H. David. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment Disposal and Reuse, fourth edition*. New York: McGraw-Hill.

Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC) – science and applications. *Journal of hazardous materials*. 84(1), 29-41.

Naje, Ahmed Samir., Chelliapan, Shreeshivadasan., Zakaria, Zuriati., Abbas, Saad A. 2015. Treatment Performance of Textile Wastewater Using Electrocoagulation (EC) Process under Combined Electrical Connection of Electrodes. Int. J. *Electrochem*. Sci., 10 (2015) 5924 – 5941.

Nurhaslina, C.R., R., Nur Hazirah., K.H., Ku Halim. 2014. Dye Decolourization of The Remazol Dye in Textile Effluent by Using Bambusa Heterstachya. Switzerland: *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 575: 60-64.

Parsa, Basiri., Jalal & Rezaei-Vahidian, Hadi & Soleymani, Ali Reza & Abbasi, Mahmoud. 2011. Removal of Acid Brown 14 in aqueous media by electrocoagulation: Optimization parameters and minimizing of energy consumption. *Desalination*. Vol. 278: 295-302.

Peraturan Daerah (perda) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). 2016. *Baku Mutu Air Larutan*. LD.2016/NO.7.

Pinalia, Anita. 2011. *Kajian Metode Filtrasi Gravitasi dan Filtrasi Sistem Vakum untuk Proses Penyempurnaan Rekristalisasi Amonium Perklorat*. LAPAN.

Prasnowo, M. Adhi., Baskoro, Gembong., Astuti, Murti. 2019. *Strategi Pengembangan Sentra Industri Kecil Menengah Kerajinan Batik*. Surabaya : Jakad Media.

Rajeshwar, Krishnan & Ibanez, Jorge. 1997. *Environmental Electrochemistry: Fundamentals and Applications in Pollution Abatement*. Chemical Degradation Methods for Wastes and Pollutants.

Rosyida, Ainur dan Anik Zulfiya. 2013. Pewarnaan Bahan Tekstil dengan Menggunakan Ekstrak Kayu Nangka dan Teknik Pewarnaannya untuk Mendapatkan Hasil yang Optimal. Sukoharjo: *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 7, No. 2, 2013 hal 52-58.

Rubiyanto, Dwiarso. 2017. *Metode Kromatografi Prinsip Dasar, Praktikum dan Pendekatan Pembelajaran Kromatograf*. Yogyakarta: Deepublish.

Russanti, Irma. 2019. *Eksplorasi Batik Tanah*. Bandung : PT. Panca Terra Firma.

Sajjadi, S. A. & Irani, M. (2018). Removal of Remazol Black B dye by electrocoagulation process coupled with bentonite as an aid coagulant and natural adsorbent. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment*, *5*(3), 1058-1065.

Sastrohamidjojo. Hardjono. 2013. *Kimia Organik Dasar*. Yogyakarta: Universitas. Gadjah Mada Press.

Sembiring, Lidya Julita. 2017. OKEZONE WEEK-END: *Tumbuh Pesat, Pangsa Pasar Industri Batik Melesat 15%*.

https://economy.okezone.com/read/2017/09/08/320/1772139/okezone-week-end-tumbuh-pesat-pangsa-pasar-industri-batik-melesat-15

Siregar, Sakti A. 2005. *Instalasi Pengolahan Air Larutan*. Yogyakarta: Kanisius

Siringo-ringo, E., Ali, K., Yayan, S. 2013. Penggunaan Metode Elektrokoagulasi Pada Pengolahan Larutan Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Aluminium Sebagai Sacrifial Electrode. *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia*.

Setianingrum, Novie Putri., Prasetya, Agus., Sarto, Sarto. 2017. *Pengurangan Zat Warna Remazol Red Rb Menggunakan Metode Elektrokoagulasi Secara Batch*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada. https://doi.org/10.22146/jrekpros.26900.

Somasundaran, Ponisseril. 2004. Encyclopedia of Surface and Colloid Science, 2004 *Update Supplement*, Volume 5. New York: Marcel Dekker.

Suhartati, Tati. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Bandar Lampung: CV. Anugrah Utama Raharja.

Sunarsih, Lilis Endang. 2018. *Penanggulangan Larutan*. Sleman: CV Budi Utama.

V.S Bagotsky. 2006. *Fundamental of Electrochemistry 2nd Edition*. Moscow: Wiley-Interscience.

Widodo, Didik Setiyo., Gunawan., dan Kristanto, Wahyu Adi. 2008. ELEKTROREMEDIASI PERAIRAN TERCEMAR: PENGGUNAAN GRAFIT PADA ELEKTRODEKOLORISASI LARUTAN REMAZOL BLACK B. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi XI No. 3*. Semarang: Universitas Diponegoro.

Young, Hugh D. 2004. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh*. Jakarta: Erlangga.

LAMPIRAN

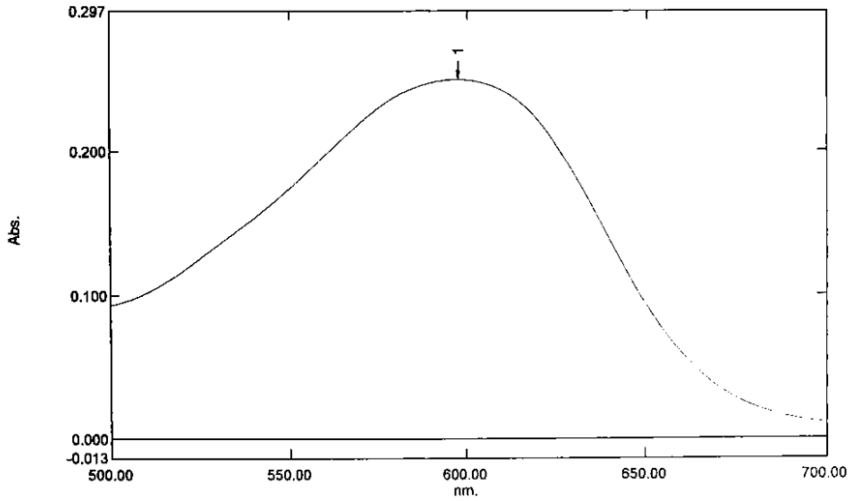
Lampiran A. Hasil Uji Spektrofotometer UV-Vis

1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan Standar

Spectrum Peak Pick Report

05/20/2020 02:36:19 PM

Data Set: File_200520_pj gel maks RBB - RawData



No.	P/V	Wavelength	Abs.	Description
1		597.40	0.250	

[Measurement Properties]
Wavelength Range (nm.): 500.00 to 700.00
Scan Speed: Fast
Sampling Interval: 0.2
Auto Sampling Interval: Enabled
Scan Mode: Single

[Instrument Properties]
Instrument Type: UV-1900 Series
Measuring Mode: Absorbance
Slit Width: 1.0 nm
Light Source Change Wavelength: 340.8 nm
S/R Exchange: Normal

[Attachment Properties]
Attachment: None

[Operation]
Threshold: 0.0010000
Points: 4
InterPolate: Disabled
Average: Disabled

[Sample Preparation Properties]
Weight:
Volume:
Dilution:
Path Length:
Additional Information:

Page 1 / 1

2. Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Photometric Report

05/20/2020 02:33:30 PM

File Name: F:\2020\Dimas-Anisa\File_200520_kurva std new.pho

[Wavelengths]
Wavelength Name: WL597.4
Wavelength: 597.40 nm

[Calibration Curve]
Column for Cal. Curve: WL597.4
Cal. Curve Type: Multi Point
Cal. Curve Unit: mg/l
Selected Wavelength: WL597.4
Calibration Equation: Abs = K1*(Conc) + K0
Zero Interception: Not Selected

[Measurement Parameters(Standard)]
Data Acquired by: Instrument
Delay sample read: Disabled
Repeat: Disabled

[Measurement Parameters(Sample)]
Data Acquired by: Instrument
Delay sample read: Disabled
Repeat: Disabled

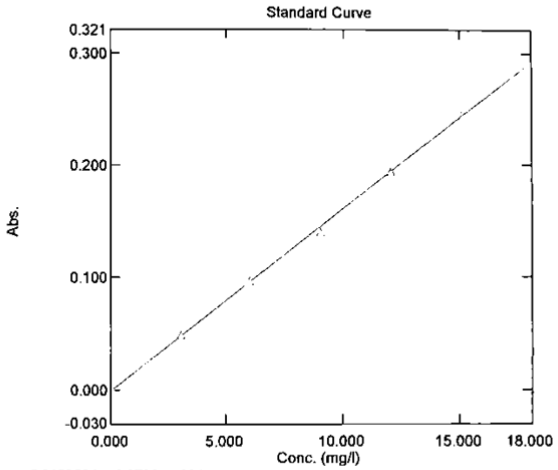
[Equations]

[Pass Fail]

[Method Summary]
Title:
Date/Time: 05/20/2020 02:23:19 PM
Comments:
Sample Preparations:

[Instrument Properties]
Instrument Type: UV-1900 Series
Measuring Mode: Absorbance
Slit Width: 1.0 nm
Light Source Change Wavelength: 340.8 nm
S/R Exchange: Normal

[Attachment Properties]



y = 0.0162504 x - 8.07081e-004
r2 = 0.99889
Chi Square = -0.00454
Standard Error of Estimate = 0.00384
Residual Standard Deviation = 0.00351
r(m)2 = 0.99889

Standard Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL597.4	Wgt.Factor	Comments
1	1	Standard		0.000	0.001	1.000	
2	2	Standard		3.000	0.049	1.000	
3	3	Standard		6.000	0.096	1.000	
4	4	Standard		9.000	0.139	1.000	
5	5	Standard		12.000	0.194	1.000	
6	6	Standard		15.000	0.248	1.000	
7	7	Standard		18.000	0.291	1.000	
8							

Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL597.4	Comments
1						

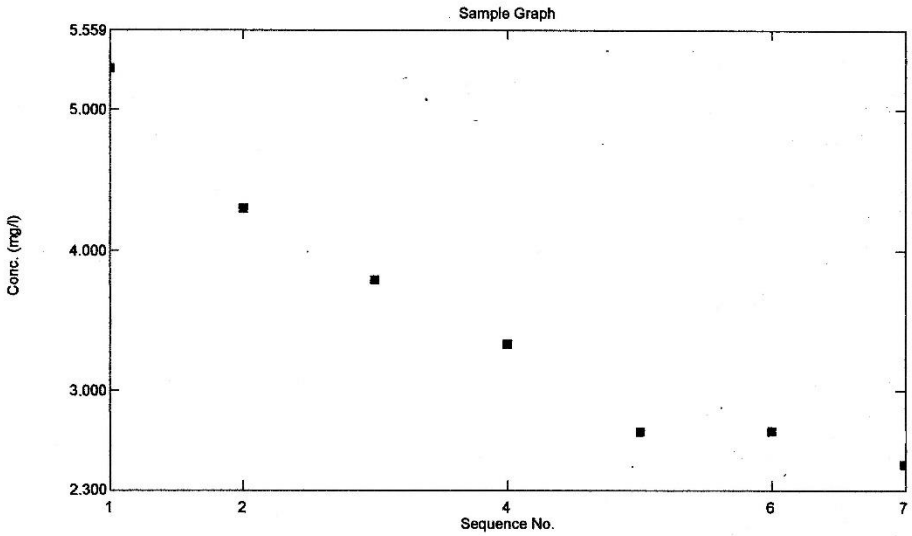
Page 1 / 1

3. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Tegangan 10 Volt

Sample Table Report

05/27/2020 01:14:26 PM

File Name: F:\2020\Dimas-Anisa\10V 1.pho



Sample Table

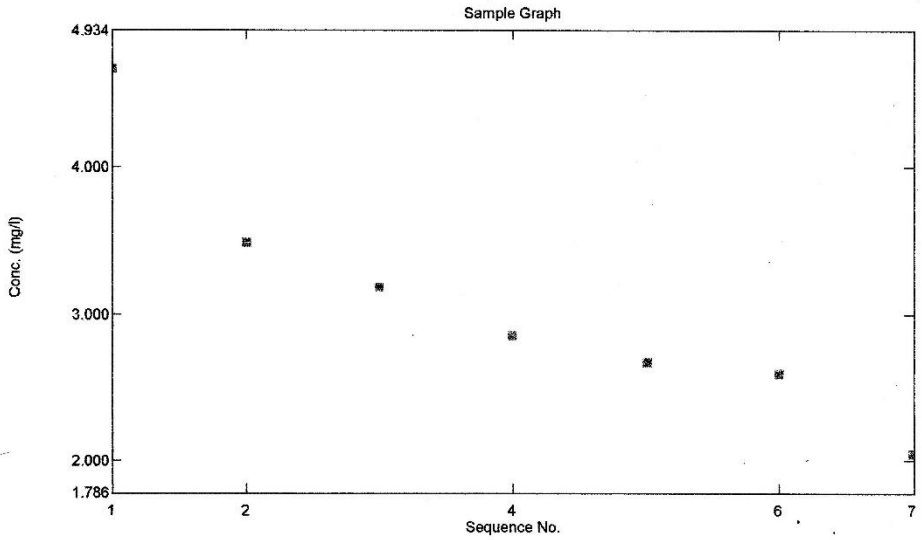
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL597.4	Comments
1	0m	Unknown		5.287	0.085	
2	10m	Unknown		4.292	0.069	
3	20m	Unknown		3.789	0.061	
4	30m	Unknown		3.330	0.053	
5	40m	Unknown		2.710	0.043	
6	50m	Unknown		2.702	0.043	
7	60m	Unknown		2.680	0.041	
8						

4. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Tegangan 15 Volt

Sample Table Report

06/05/2020 12:52:32 PM

File Name: F:\2020\Dimas-Anisa\15 V (1).pho



Sample Table

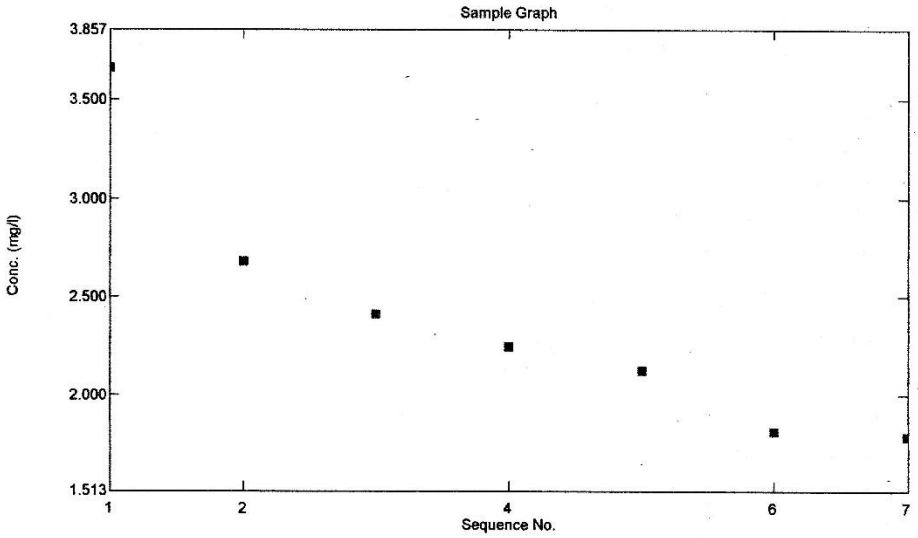
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL598.5	Comments
1	0mnt	Unknown		4.672	0.103	
2	10mnt	Unknown		3.487	0.077	
3	20mnt	Unknown		3.181	0.070	
4	30mnt	Unknown		2.971	0.059	
5	40mnt	Unknown		2.854	0.057	
6	50mnt	Unknown		2.597	0.063	
7	60mnt	Unknown		2.299	0.045	
8						

5. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Tegangan 20 Volt

Sample Table Report

06/12/2020 10:29:44 AM

File Name: F:\2020\Dimas-Anisa\20 V (3).pho



Sample Table

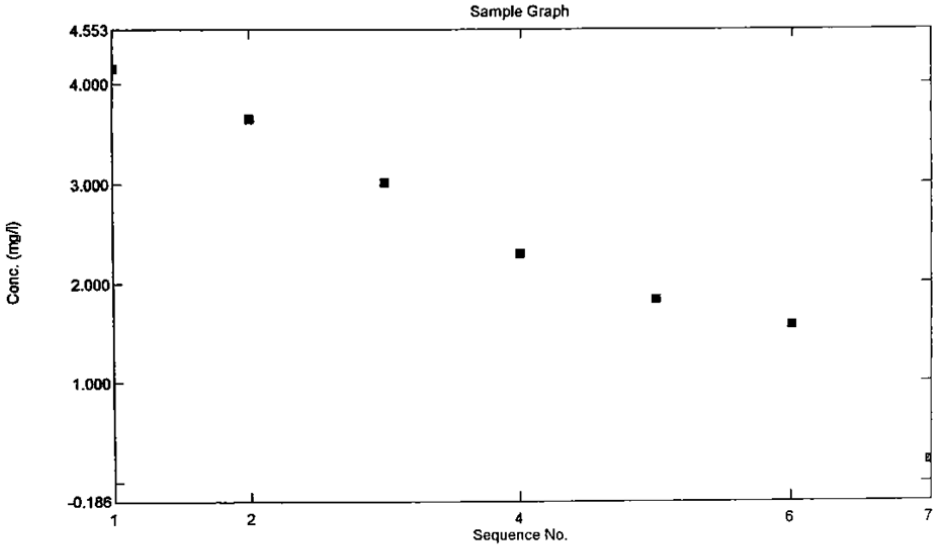
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL598.5	Comments
1	0mnt	Unknown		3.662	0.080	
2	10	Unknown		2.676	0.059	
3	20	Unknown		2.409	0.053	
4	30	Unknown		2.314	0.050	
5	40	Unknown		2.126	0.047	
6	50	Unknown		1.811	0.040	
7	60	Unknown		1.783	0.039	
8						

6. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Tegangan 25 Volt

Sample Table Report

05/27/2020 01:05:18 PM

File Name: F:\2020\Dimas-Anisa\25V 1.pho



Sample Table

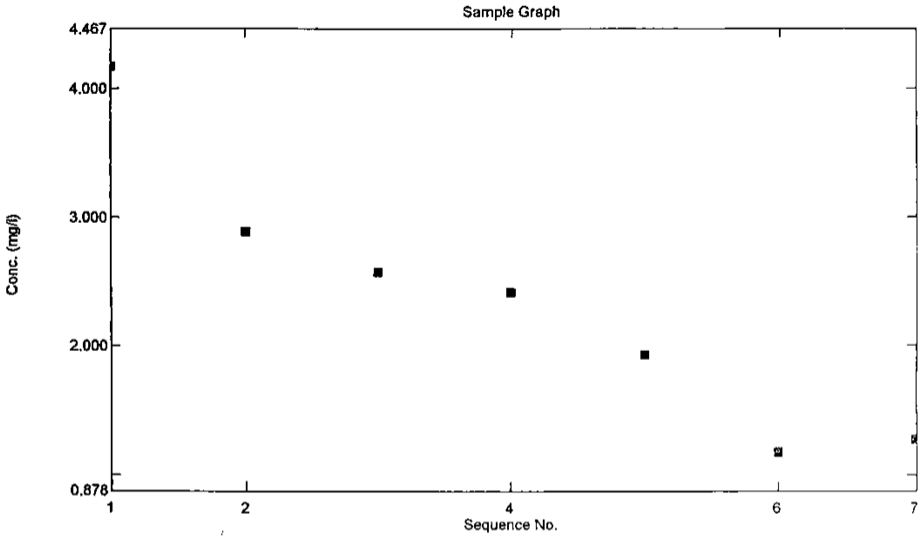
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL597.4	Comments
1	0m	Unknown		4.158	0.067	
2	10m	Unknown		3.653	0.059	
3	20m	Unknown		3.026	0.048	
4	30m	Unknown		2.314	0.037	
5	40m	Unknown		1.844	0.029	
6	50m	Unknown		1.587	0.025	
7	60m	Unknown		0.209	0.003	
8						

7. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Konsentrasi Awal 25 ppm

Sample Table Report

06/05/2020 12:24:02 PM

File Name: F:\2020\Dimas-Anisa\25 ppm (2).pho



Sample Table

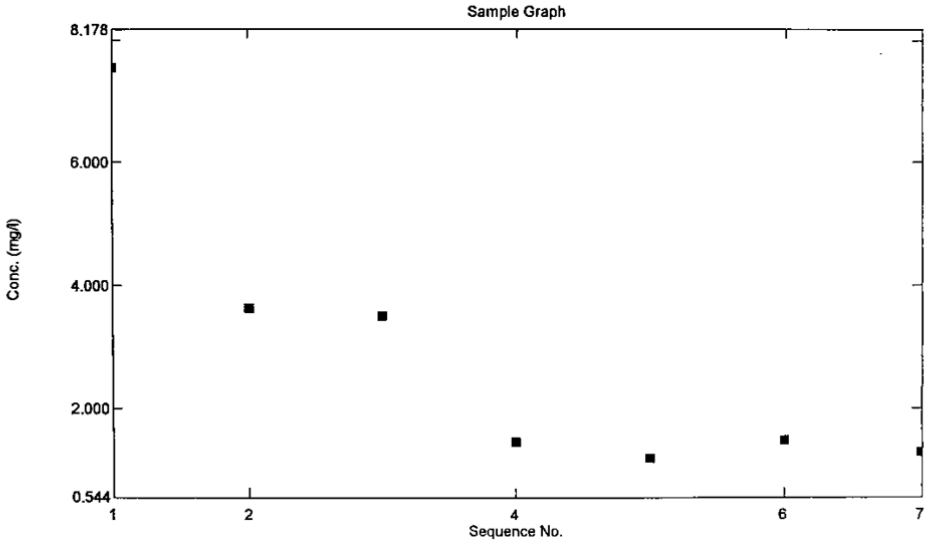
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL598.5	Comments
1	0mnt	Unknown		4.168	0.092	
2	10mnt	Unknown		2.897	0.064	
3	20mnt	Unknown		2.590	0.057	
4	30mnt	Unknown		2.425	0.053	
5	40mnt	Unknown		1.942	0.043	
6	50mnt	Unknown		1.177	0.026	
7	60mnt	Unknown		1.269	0.028	
8						

8. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Konsentrasi Awal 50 ppm

Sample Table Report

06/12/2020 10:12:52 AM

File Name: F:\2020\Dimas-Anisa\50 ppm (0-60mnt).pho



Sample Table

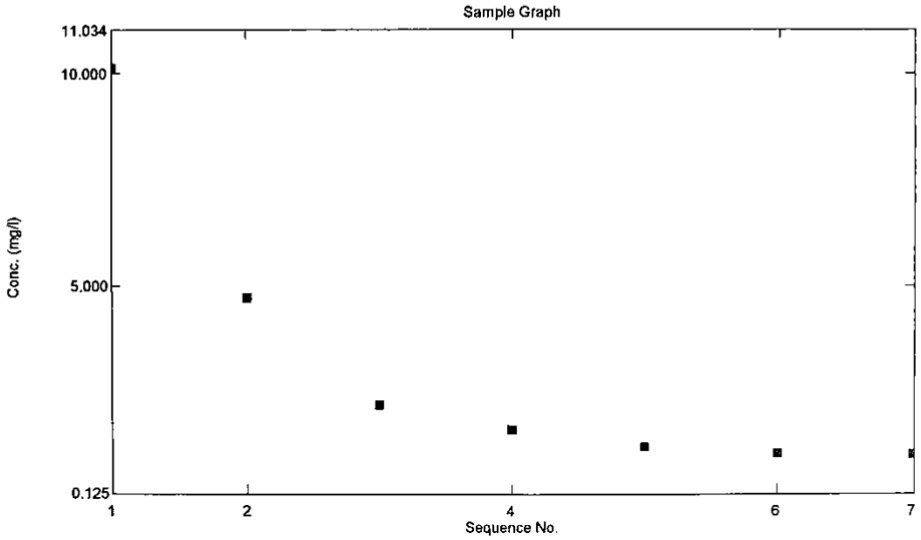
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL598.5	Comments
1	0mnt	Unknown		7.542	0.166	
2	10	Unknown		3.630	0.080	
3	20	Unknown		3.528	0.078	
4	30	Unknown		1.456	0.032	
5	40	Unknown		1.181	0.026	
6	50	Unknown		1.469	0.032	
7	60	Unknown		1.262	0.028	
8						

9. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Konsentrasi Awal 75 ppm

Sample Table Report

06/12/2020 10:36:18 AM

File Name: F:\2020\Dimas-Anisa\75 ppm (2).pho



Sample Table

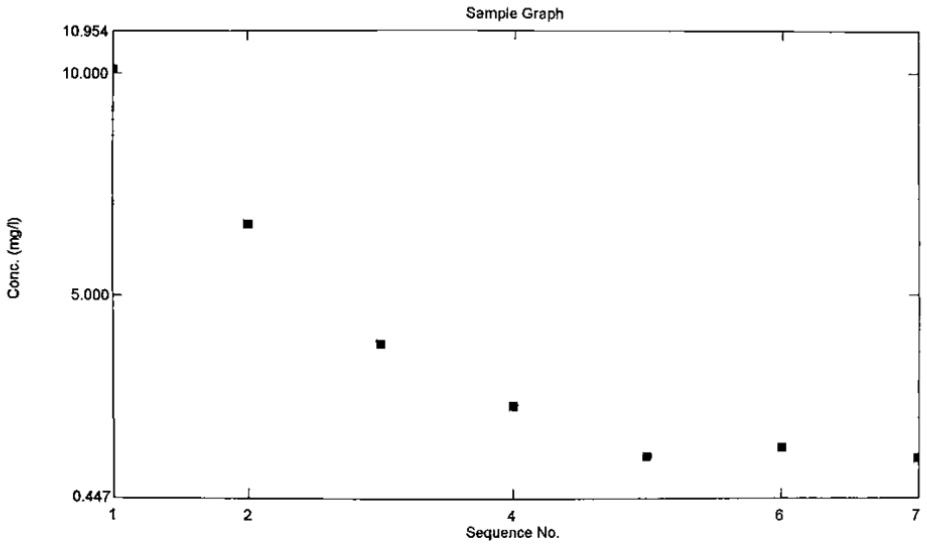
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL598.5	Comments
1	0mnt	Unknown		10.125	0.222	
2	10	Unknown		4.724	0.104	
3	20	Unknown		2.210	0.049	
4	30	Unknown		1.628	0.036	
5	40	Unknown		1.229	0.027	
6	50	Unknown		1.054	0.023	
7	60	Unknown		1.034	0.023	
8						

10. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Konsentrasi Awal 100 ppm

Sample Table Report

06/12/2020 03:08:57 PM

File Name: F:\2020\Dimas-Anisa\100 ppm (5).pho



Sample Table

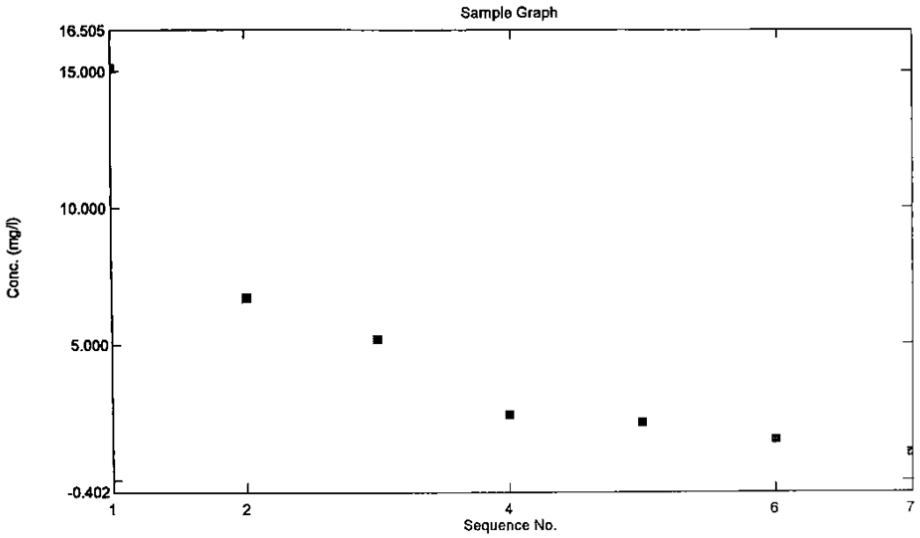
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL598.5	Comments
1	0mnt	Unknown		10.078	0.221	
2	10mnt	Unknown		6.600	0.145	
3	20mnt	Unknown		3.930	0.086	
4	30mnt	Unknown		2.528	0.056	
5	40mnt	Unknown		1.373	0.030	
6	50mnt	Unknown		1.552	0.034	
7	60mnt	Unknown		1.323	0.029	
8						

11. Larutan Pewarna Sintetis pada Variasi Konsentrasi Awal 125 ppm

Sample Table Report

06/05/2020 12:41:15 PM

File Name: F:\2020\Dimas-Anisa\125 ppm (2).pho



Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL598.5	Comments
1	0mnt	Unknown		15.096	0.332	
2	10mnt	Unknown		6.741	0.148	
3	20mnt	Unknown		5.227	0.115	
4	30mnt	Unknown		2.461	0.054	
5	40mnt	Unknown		2.149	0.047	
6	50mnt	Unknown		1.479	0.033	
7	60mnt	Unknown		1.007	0.022	
8						

Page 1 / 1

Lampiran B. Data Pendukung Penyisihan Remazol Black B

1. Pembuatan NaOH 1 M, 10 mL

$$1 \text{ Molar NaOH} = \frac{\text{mol}}{\text{Liter}}$$

$$1 \text{ Molar NaOH} = \frac{\left(\frac{\text{massa NaOH}}{\text{BM NaOH}}\right)}{\text{Liter}}$$

$$1 \text{ Molar NaOH} = \frac{\left(\frac{\text{massa NaOH}}{40 \text{ gr/ mol}}\right)}{0{,}01 \text{ Liter}}$$

$$1 \text{ Molar NaOH} \times 0.01 \text{ Liter} = \frac{\text{massa NaOH}}{40 \text{ gr/mol}}$$

Massa NaOH = 0,4 gr

2. Pembuatan Larutan Induk Remazol Black B

Perhitungan massa Remazol Black B yang dibutuhkan untuk membuat larutan induk 500 ppm sebanyak 1000 mL.

$$500 \text{ ppm} = \frac{500 \text{ mg}}{1000 \text{ mL}} = \frac{\text{Massa Remazol}}{\text{Volume total}}$$

Dengan melarutkan 500 mg padatan Remazol Black B ke dalam akuades dengan total volume akhir sebanyak 1000 mL.

3. Pembuatan Kurva Kalibrasi Remazol Black B

Kurva kalibrasi dibuat dengan menghubungkan titik pertemuan antara konsentrasi dan absorbansi tiap larutan standar yang diukur pada spektrofotmeter UV-Vis. Garis yang terbentuk kemudian dihubungkan dengan regresi linear untuk mendapatkan persamaan linear dan nilai R^2. Larutan standar yang digunakan untuk membuat kurva kalibrasi adalah 3, 6, 9, 12, 15, dan 18 ppm serta larutan blanko masing-masing sebanyak 10 mL. Larutan induk 30 ppm diperoleh dari pengenceran larutan induk 500 ppm. Sedangkan larutan standar 3, 6, 9, 12, 15, dan 18 ppm diperloeh dari pengenceran larutan standar 30 ppm. Perhitungan pengenceran menggunakan dasar rumus pengenceran sebagai berikut.

$$Konsentrasi\ Awal \times Volume\ Awal = Konsentrasi\ Akhir \times Volume\ Akhir$$

a. Perhitungan pengenceran larutan induk 500 ppm untuk menghasilkan larutan induk 30 ppm

$$Volume = \frac{Konsentrasi\ AKhir \times Volume\ Akhir}{Konsentrasi\ Awal}$$

$$Volume = \frac{30ppm \times 200mL}{500ppm}$$

$$Volume = 12mL$$

b. Perhitungan pengenceran larutan induk 30 ppm untuk menghasilkan larutan standar Remazol Black B 3 ppm

$$Volume = \frac{3ppm \times 10mL}{30ppm}$$

$$Volume = 1mL$$

c. Perhitungan pengenceran larutan induk 30 ppm untuk menghasilkan larutan standar Remazol Black B 6 ppm

$$Volume = \frac{6ppm \times 10mL}{30ppm}$$

$$Volume = 2mL$$

d. Perhitungan pengenceran larutan induk 30 ppm untuk menghasilkan larutan standar Remazol Black B 9 ppm

$$Volume = \frac{9ppm \times 10mL}{30ppm}$$

$$Volume = 3mL$$

e. Perhitungan pengenceran larutan induk 30 ppm untuk menghasilkan larutan standar Remazol Black B 12 ppm

$$Volume = \frac{12ppm \times 10mL}{30ppm}$$

$$Volume = 4mL$$

f. Perhitungan pengenceran larutan induk 30 ppm untuk menghasilkan larutan standar Remazol Black B 15 ppm

$$Volume = \frac{15ppm \times 10mL}{30ppm}$$

$$Volume = 5mL$$

g. Perhitungan pengenceran larutan induk 30 ppm untuk menghasilkan larutan standar Remazol Black B 18 ppm

$$Volume = \frac{18ppm \times 10mL}{30ppm}$$

$$Volume = 6mL$$

4. Pembuatan Larutan Pewarna Sintetis

a. Perhitungan pengenceran larutan induk untuk menghasilkan larutan pewarna sintetis 25 ppm

$$Volume = \frac{Konsentrasi\ AKhir \times Volume\ Limbah}{Konsentrasi\ Awal}$$

$$Volume = \frac{25ppm \times 200mL}{500ppm}$$

$$Volume = 10mL$$

b. Perhitungan pengenceran larutan induk untuk menghasilkan larutan pewarna sintetis 50 ppm

$$Volume = \frac{50ppm \times 200mL}{500ppm}$$

$$Volume = 20mL$$

c. Perhitungan pengenceran larutan induk untuk menghasilkan larutan pewarna sintetis 75 ppm

$$Volume = \frac{75ppm \times 200mL}{500ppm}$$

$$Volume = 30mL$$

d. Perhitungan pengenceran larutan induk untuk menghasilkan larutan pewarna sintetis 100 ppm

$$Volume = \frac{100ppm \times 200mL}{500ppm}$$

$$Volume = 40mL$$

e. Perhitungan pengenceran larutan induk untuk menghasilkan larutan pewarna sintetis 125 ppm

$$Volume = \frac{125ppm \times 200mL}{500ppm}$$

$$Volume = 50mL$$

5. Perhitungan Persen Penyisihan Remazol Black B

$$\%\text{Penyisihan Remazol Black B} = \frac{[\text{Remazol Black B}]awal - [\text{Remazol Black B}]akhir}{[\text{Remazol Black B}]awal} \times 100\%$$

Perhitungan persen penyisihan Remazol Black B dengan variasi tegangan dapat dilihat pada tabel B.1.

Tabel B.1 Penyisihan Remazol Black B dengan Variasi Tegangan

Waktu (menit)	Penyisihan (%)			
	10 volt	15 volt	20 volt	25 volt
0	0	0	0	0
10	18,82	25,36	26,93	12,15
20	28,33	31,91	34,22	27,22
30	37,02	36,41	36,81	44,35
40	48,74	38,91	41,94	55,65
50	48,89	44,41	50,55	61,83
60	49,31	50,79	51,31	94,97

*Data konsentrasi awal dan konsentrasi akhir Remazol Black B didapatkan dari hasil pengukuran absorbansi sampel dengan spektrofotometer UV-Vis. Pengukuran ini dilakukan sehari setelah dilakukan proses elektrokoagulasi untuk beberapa sampel.

Perhitungan persen penyisihan Remazol Black B dengan variasi konsentrasi awal larutan dapat dilihat pada tabel B.2.

Tabel B.2 Penyisihan dengan Variasi Konsentrasi Awal Larutan

Waktu (menit)	Penyisihan (%)				
	25 ppm	50 ppm	75 ppm	100 ppm	125 ppm
0	0	0	0	0	0
10	30,49	51,87	53,34	34,51	55,35
20	37,86	53,22	78,17	61,00	63,37
30	41,82	80,69	83,92	74,92	83,70
40	53,41	84,34	87,86	86,38	85,76
50	71,76	80,52	89,59	84,60	90,20
60	69,55	83,27	89,79	86,87	93,33

*Data konsentrasi awal dan konsentrasi akhir Remazol Black B didapatkan dari hasil pengukuran absorbansi sampel dengan spektrofotometer UV-Vis. Pengukuran ini dilakukan sehari setelah dilakukan proses elektrokoagulasi untuk beberapa sampel.

6. Perhitungan Perubahan Massa Anoda

Penelitian ini menggunakan empat buah pelat elektroda berupa aluminium, dimana 2 pelat sebagai anoda dan 2 pelat sebagai katoda. Selama proses elektrokoagulasi terdapat perubahan massa anoda karena adanya peristiwa disolusi yang mengakibatkan penurunan massa anoda. Pengukuran perubahan massa anoda dilakukan dengan penimbangan pada neraca analitik dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Perubahan\ Massa = Massa\ Anoda\ Akhir - Massa\ Anoda\ Awal$$

Perhitungan perubahan massa anoda pada variasi tegangan dapat dilihat pada tabel B.3.

Tabel B.3 Data Perubahan Massa Anoda pada Variasi Tegangan

Tegangan (Volt)		Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Perubahan Massa (gr)
10	Anoda 1	7,26	7,25	0,01
	Anoda 2	7,15	7,14	0,01
15	Anoda 1	7,10	7,09	0,01
	Anoda 2	6,99	6,98	0,01
20	Anoda 1	7,21	7,20	0,01
	Anoda 2	7,17	7,15	0,02
25	Anoda 1	7,18	7,16	0,02
	Anoda 2	7,25	7,23	0,02

Perhitungan perubahan massa anoda pada variasi konsentrasi awal larutan dapat dilihat pada tabel B.4.

Tabel B.4 Data Perubahan Massa Anoda pada Variasi Konsentrasi Awal Larutan

Konsentrasi Awal (ppm)		Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Perubahan Massa (gr)
25	Anoda 1	7,33	7,32	0,01
	Anoda 2	7,09	7,07	0,02
50	Anoda 1	7,30	7,28	0,02
	Anoda 2	7,14	7,13	0,01
75	Anoda 1	7,17	7,16	0,01
	Anoda 2	7,31	7,30	0,01
100	Anoda 1	7,36	7,35	0,01
	Anoda 2	7,06	7,05	0,01
125	Anoda 1	7,44	7,42	0,02
	Anoda 2	7,39	7,37	0,02

7. Data Hasil Pengukuran pH Tiap Interval Waktu

Data hasil pengukuran pH tiap interval waktu pada variasi tegangan dapat dilihat pada tabel B.5.

Tabel B.5 Data Hasil Pengukuran pH tiap Interval Waktu pada Variasi Tegangan

No	Tegangan (Volt)	pH pada menit ke-						
		0	10	20	30	40	50	60
1	10	6,78	6,84	7,2	7,2	7,53	7,56	7,6
2	15	7,1	7,1	7,3	7,34	7,6	7,9	8,0
3	20	7,0	7,1	7,1	7,2	7,4	8,2	8,5
4	25	6,9	7,2	7,4	7,8	8,4	8,7	8,8

Data hasil pengukuran pH tiap interval waktu pada variasi konsentrasi awal larutan dapat dilihat pada tabel B.6.

Tabel B.6 Data Hasil Pengukuran pH tiap Interval Waktu pada Variasi Konsentrasi Awal Larutan

No	Konsentrasi (ppm)	pH pada menit ke-						
		0	10	20	30	40	50	60
1	25	6,7	7,3	7,6	7,9	8,1	8,1	8,1
2	50	6,86	7,66	7,82	7,92	8,10	8,12	8,20
3	75	7,00	7,88	8,12	8,14	8,14	8,14	8,29
4	100	6,30	7,59	7,73	7,86	7,90	7,93	7,96
5	125	6,9	7,4	8,3	8,6	8,7	8,8	8,8

8. Data Hasil Pengukuran Arus Tiap Interval Waktu

Data hasil pengukuran arus tiap interval waktu pada tegangan 20 V dan 25 V dapat dilihat pada tabel B.7.

Tabel B.7 Data Hasil Pengukuran Arus Tiap Interval Waktu pada Tegangan 20 V dan 25 V

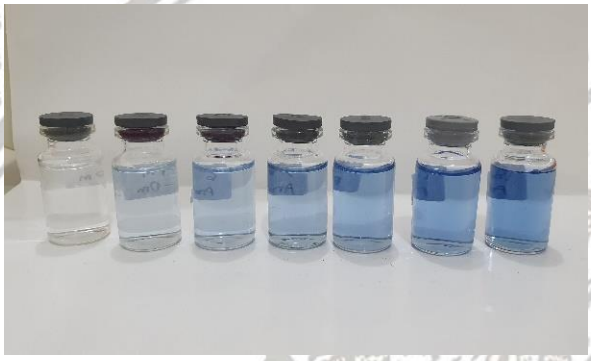
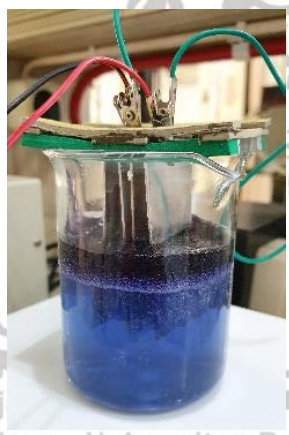
No	Tegangan (Volt)	Arus (A) pada menit ke-						
		0	10	20	30	40	50	60
1	20	1,73	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74
2	25	1,78	1,78	1,78	1,79	1,79	1,79	1,79

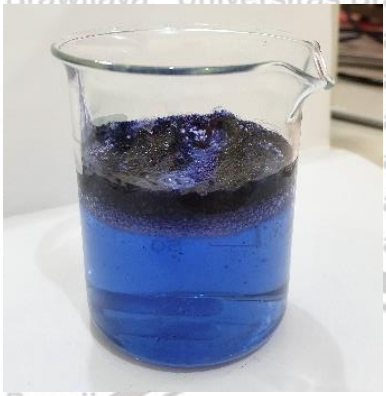
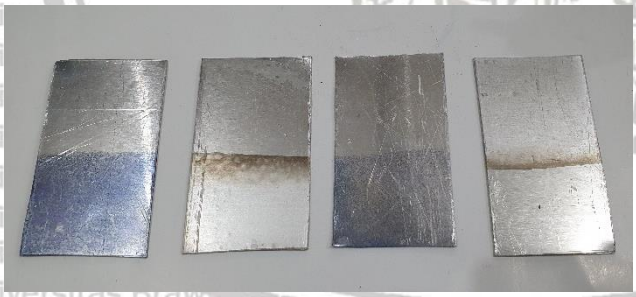
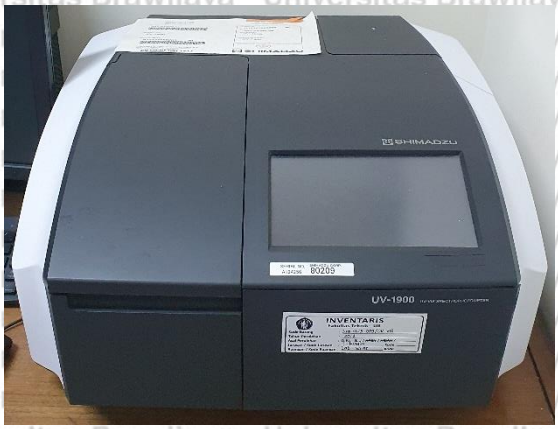
Data hasil pengukuran arus tiap interval waktu pada konsentrasi awal larutan 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, dan 100 ppm dapat dilihat pada tabel B.8.

Tabel B.8 Data Hasil Pengukuran Arus Tiap Interval Waktu pada Konsentrasi Awal Larutan 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, dan 100 ppm

No	Konsentrasi (ppm)	Arus (A) pada menit ke-						
		0	10	20	30	40	50	60
1	25	1,78	1,78	1,78	1,79	1,79	1,79	1,79
2	50	1,79	1,79	1,79	1,80	1,80	1,80	1,80
3	75	1,80	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81
4	100	1,82	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84

Lampiran C. Dokumentasi Penelitian

No	Dokumentasi	Keterangan
1		Perlakuan awal pelat elektroda dengan perendaman dalam aseton
2		Pembuatan larutan standar 0, 3, 6, 9, 12, 15, dan 18 ppm untuk dibuat kurva kalibrasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis
3		Proses elektrokoagulasi
4		pH meter digital untuk pengukuran pH larutan

No	Dokumentasi	Keterangan
5		Remazol Black B 125 ppm setelah proses elektrokoagulasi pada tegangan 25 volt
6		Sampel menit ke-0 hingga menit ke-60 elektrokoagulasi Remazol Black B 125 ppm pada tegangan 25 volt
7		Elektroda setelah proses elektrokoagulasi
8		Alat Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1900 untuk mengukur konsentrasi sampel Remazol Black B

RIWAYAT HIDUP

Annisa Giani Zahra lahir pada 16 Januari 1999 di Jakarta, merupakan anak dari ayah Sugianto dan ibu Yulia. Menjalankan pendidikan SD di Kota Bekasi, SMP di Kota Bekasi dan Kota Cirebon, SMA di Sidoarjo hingga lulus pada tahun 2016. Lulus program sarjana teknik kimia di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tahun 2020. Menjalankan praktik kerja lapang di Petrokimia Gresik pada tahun 2019. Pengalaman organisasi selama kuliah adalah menjadi Staff Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia serta menjadi Staff di LPM Solid FT UB.

Malang, 17 Agustus 2020

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Dimas Maulana Luqman, lahir di Gresik, 21 September 1998, merupakan anak dari ayah Andik Widiyanarko dan ibu Nyimas Nurhanisah. Mengampu pendidikan dasar di SD Nahdlatul Ulama 1 Trate Gresik, pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 2 Gresik, dan pendidikan menengah atas di SMA Nahdlatul Ulama 1 Gresik. Lulus program sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2020. Memiliki pengalaman Praktek Kerja Lapang (PKL) di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk pada tahun 2019.

Malang, 17 Agustus 2020

Penulis

ELEKTROKOAGULASI KONFIGURASI MONOPOLAR SERI UNTUK PENYISIHAN REMAZOL BLACK B DENGAN VARIASI TEGANGAN DAN KONSENTRASI AWAL LARUTAN PEWARNA SINTETIS

Annisa Giani Zahra[1)], Dimas Maulana Luqman[1)], Bambang Ismuyanto[1)], dan Julianandа[1*)]

[1)] Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167, Malang 65145, Indonesia
[*)] Penulis korespondensi : nda.julia@gmail.com

Abstract

The batik industry is currently growing rapidly by up to 15% according to the Indonesian Textile Association. Reactive dyes are dyes that are widely used for textile coloring. Some reactive dyes that are often used include Remazol Black B. Electrocoagulation is a process of coagulation using direct electric current which results in an oxidation-reduction reaction in the electrochemical system, so that flocks are easily separated. Aluminum (Al) and iron (Fe) are the most common anodes that are often used in the electrocoagulation process. In this research, synthetic dye solutions treatment using this electrocoagulation process used Remazol Black B dye with voltage variations (10 V, 15 V, 20 V, and 25 V) as well as the initial concentrations of synthetic dye solution (25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm , and 125 ppm). This aims to determine the effect of voltage and the initial concentration of synthetic dye solution on the percentage of Remazol Black B removal. The method of this study was carried out using an Aluminum (Al) plate with a monopolar series configuration. The study was conducted at room temperature for 60 minutes with stirring velocity of 200 rpm and sampling every 10 minutes. Each sample taken will be analyzed using a UV-Vis spectrophotometer to determine the concentration of the dye. The highest percentage removal obtained at voltage of 25 V and initial concentration of 125 ppm with percentage removal obtained are 94.97% and 93.33%.

Keywords**:** *aluminum, concentration, electrocoagulation, Remazol Black B, voltage*

Abstrak

Industri batik saat ini berkembang pesat hingga 15% menurut Asosiasi Pertekstilan Indonesia. Zat warna golongan reaktif merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pewarnaan tekstil. Beberapa zat warna reaktif yang sering digunakan antara lain adalah Remazol Black B. Elektrokoagulasi merupakan proses koagulasi menggunakan arus listrik searah yang mengakibatkan terjadinya reaksi oksidasi-reduksi dalam sistem elektrokimia, sehingga terbentuk flok yang mudah dipisahkan. Aluminium (Al) dan besi (Fe) adalah anoda paling umum yang sering digunakan dalam proses elektrokoagulasi. Pada penelitian pengolahan larutan pewarna sintetis menggunakan proses elektrokoagulasi ini digunakan pewarna Remazol Black B dengan variasi tegangan elektroda (10 V, 15 V, 20 V, dan 25 V) serta konsentrasi awal larutan pewarna sintetis (25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, dan 125 ppm). Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh besar tegangan serta konsentrasi awal larutan pewarna sintetis terhadap persentase penyisihan zat warna Remazol Black B. Metode penelitian ini dilakukan menggunakan plat Aluminium (Al) dengan konfigurasi monopolar seri. Penelitian dilakukan pada suhu ruangan selama 60 menit dengan kecepatan pengadukan sebesar 200 rpm dan pengambilan sampel setiap 10 menit. Setiap sampel yang diambil akan dianalisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi zat warna. Didapatkan hasil penyisihan tertinggi pada tegangan 25 V dan konsentrasi awal 125 ppm dengan persentase penyisihan sebesar 94,97% dan 93,33%.

Kata kunci: *aluminium, elektrokoagulasi, konsentrasi, Remazol Black B, tegangan*

PENDAHULUAN

Industri batik saat ini berkembang pesat hingga 15% menurut Asosiasi Pertekstilan Indonesia. Dalam pembuatan batik terdapat proses pewarnaan dan percetakan yang menghasilkan limbah cair mengandung zat warna yang sangat karsinogenik, sehingga pewarna harus dibedakan dan dipisahkan dari air limbah sebelum dibuang.

Zat warna merupakan senyawa organik yang mengandung gugus kromofor terkonjugasi. Zat warna golongan reaktif merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pewarnaan tekstil. Beberapa zat warna reaktif yang sering digunakan antara lain adalah Remazol Black B. Zat warna reaktif sangat larut dalam air dan tidak terdegradasi pada kondisi aerob biasa. Dampak yang dapat ditimbulkan pada kesehatan antara lain adalah iritasi pada kulit (Widodo dkk, 2008). Penghilangan zat warna pada limbah tekstil menjadi lebih menantang karena lebih kompleks dari waktu ke waktu. Ada berbagai teknik pemisahan yang dapat diaplikasikan untuk pengolahan limbah tekstil, seperti teknik kimiawi dan biologi (Nurhaslina, 2014).

Elektrokoagulasi merupakan proses koagulasi menggunakan arus listrik searah yang mengakibatkan terjadinya reaksi oksidasi-reduksi dalam sistem elektrokimia, sehingga terbentuk flok yang mudah dipisahkan (Lestari dan Tuhu, 2013). Elektrokoagulasi merupakan metode yang mudah dan efisien untuk diaplikasikan dalam pengolahan limbah zat warna karena dapat memflotasikan zat pencemar serta mengurangi penggunaan bahan kimia. Flok yang terbentuk dalam proses ini juga lebih mudah disaring (Khandegar, 2013). Metode elektrokoagulasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu arus, tegangan, jenis elektroda, konsentrasi awal limbah, jarak elektroda, serta pasivasi elektroda.

Prinsip kerja elektrokoagulasi adalah logam Al digunakan sebagai anoda yang kemudian akan menghasilkan ion logam yang akan terhidrolisis menjadi besi polimer atau aluminium hidroksida. Hidroksida polimerik ini merupakan agen koagulasi yang sangat baik. Anoda korban (*sacrificial anode*) digunakan untuk terus menghasilkan polimer hidroksida di sekitar anoda. Koagulasi terjadi ketika anion logam ini bergabung dengan partikel negatif yang dibawa ke aras anoda oleh gerakan elektroforetik (Comninellis dan Chen, 2010).

Menurut Comninellis dan Chen (2010), reaksi elektrokoagulasi secara sederhana terdiri atas satu anoda dan satu katoda. Ketika tegangan listrik dialirkan dari sumber arus listrik, maka anoda akan teroksidasi dan pada katoda akan terjadi proses reduksi dimana elemen logam akan terdeposisi. Reaksi elektrokimia dengan anoda logam M dapat ditulis sebagai berikut:

Pada anoda:

$$M_{(s)} \rightarrow M^{n+}_{(aq)} + ne^- \quad (1)$$

$$2H_2O_{(l)} \rightarrow 4H^+_{(aq)} + O_{2(g)} + 4e^- \quad (2)$$

Pada katoda:

$$M^{n+}_{(aq)} + ne^- \rightarrow M_{(s)} \quad (3)$$

$$2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow 2H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)} \quad (4)$$

Jika digunakan elektroda Fe atau Al, ion $Fe^{3+}_{(aq)}$ atau $Al^{3+}_{(aq)}$ yang dihasilkan akan mengalami reaksi spontan untuk menghasilkan hidroksida dan atau polihidroksida. Terdapat afinitas yang kuat dalam senyawa-senyawa tersebut untuk partikel-partikel terdispersi serta ion yang berlawanan untuk menghasilkan koagulasi. Gas yang terbentuk pada elektroda akan mengenai dan menyebabkan flotasi pada material yang telah terkoagulasi (Ge, dkk, 2004).

Elektrokoagulasi air limbah mempunyai reaksi utama pada elektroda sebagai berikut (Ghalwa dkk, 2016):

Anoda:

$$2Al_{(s)} \rightarrow 2Al^{3+}_{(aq)} + 6e^- \quad (5)$$

Katoda:

$$6H_2O_{(l)} + 6e^- \rightarrow 3H_{2(g)} + 6OH^-_{(aq)} \quad (6)$$

Reaksi Total:

$$2Al_{(s)} + 6H_2O_{(aq)} \rightarrow 2Al(OH)_{3(s)} + 3H_{2(g)} \quad (7)$$

Ada dua mekanisme yang terjadi pada penghilangan zat warna, yaitu presipitasi dan adsorpsi. Pada pH rendah, mekanisme presipitasi dominan terjadi, sedangkan pada pH > 6, adsorpsi adalah mekanisme utama (Comninellis dan Chen, 2010):

Presipitasi:

Zat Warna + Monomeric Al →
[Zat Warna - Monomeric Al]$_{(s)}$ pH = 4 – 5 (8)

Zat Warna + Polymeric Al →
[Zat Warna - Monomeric Al]$_{(s)}$ pH = 5 – 6 (9)

Adsorpsi:

Zat Warna + $Al(OH)_3(s) \rightarrow\rightarrow\rightarrow$
[Partikel Flok] (10)

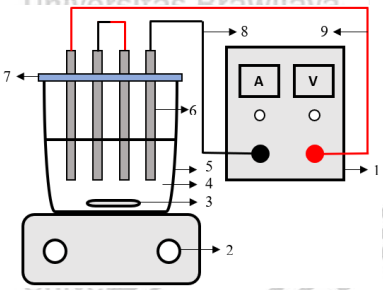
Zat Warna - Polymeric $Al_{(s)}$ +
$Al(OH)_{3(s)} \rightarrow\rightarrow\rightarrow$ [Partikel Flok] (11)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persentase penyisihan Remazol Black B dengan konfigurasi monopolar seri menggunakan variasi tegangan dan konsentrasi awal larutan pewarna sintetis selama 60 menit.

METODE PENELITIAN

Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah rangkaian sel

elektrokoagulasi dan spektrofotometer UV-Visible. Rangkaian sel elektrokoagulasi tersusun dari *beaker glass* 250 mL sebagai reaktor, empat buah pelat elektroda aluminium dimana dua buah pelat sebagai anoda dan dua buah pelat sebagai katoda, yang kemudian dihubungkan dengan kabel, *power supply DC*, dan *magnetic stirrer*. Jarak antar pelat elektroda diatur sebesar 0,5 cm dan disusun dengan konfigurasi monopolar seri. Rangkaian sel elektrokoagulasi yang digunakan dapat dilihat pada gambar 1.



Keterangan:
1. *Power Supply DC*
2. *Digital magnetic stirrer*
3. *Magnetic bar stirrer*
4. Larutan sampel
5. *Beaker glass*
6. Pelat Aluminium
7. Penjepit
8. Kabel negatif
9. Kabel positif

Gambar 1. Rangkaian Sel Elektrokoagulasi

Beberapa peralatan pendukung lainnya pada penelitian ini adalah labu ukur, pipet ukur, gelas ukur, *stopwatch*, pH meter, neraca analitik, oven, dan desikator.

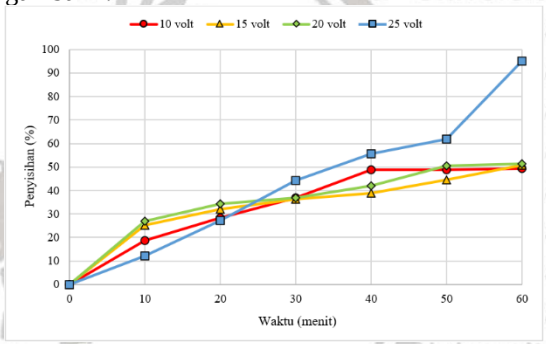
Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah pewarna bubuk sintetis Remazol Black B dan pelat elektroda berupa pelat aluminium dengan ukuran 7 cm x 4 cm. Beberapa bahan pendukung lainnya adalah NaOH 1 M, aseton, dan akuades.

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan diantaranya pembuatan larutan induk Remazol Black B dengan konsentrasi 500 ppm, pembuatan larutan pewarna sintetis yang dibuat dari pengenceran larutan induk untuk menghasilkan konsentrasi larutan pewarna sintetis 25 ppm; 50 ppm; 75 ppm; 100 ppm; dan 125 ppm, perlakuan awal elektroda dengan pembilasan menggunakan akuades dan perendaman dalam aseton kemudian pengeringan dengan oven pada suhu 115°C selama 10 menit, persiapan rangkaian sel elektrokoagulasi, proses elektrokoagulasi yang dilakukan pada variasi tegangan 10 V, 15 V, 20 V, dan 25 V selama 60 menit dengan pengambian sampel setiap 10 menit, kemudian proses elektrokoagulasi dilakukan pada tegangan 25 V dengan variasi konsentrasi awal 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, dan 125 ppm. Kemudian dilakukan pengukuran perubahan konsentrasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis serta perlakuan akhir elektroda. Hasil pengukuran perubahan konsentrasi kemudian diolah untuk mengetahui persentase penyisihan Remazol Black B.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Tegangan terhadap Penyisihan Zat Warna

Pada penelitian ini, sampel larutan yang digunakan berupa larutan pewarna sintetis Remazol Black B dengan konsentrasi 25 ppm yang akan dilakukan penyisihan terhadap konsentrasi zat warna tersebut menggunakan proses elektrokoagulasi dengan memvariasikan tegangan. Tegangan yang digunakan pada saat proses elektrokoagulasi adalah 10 V, 15 V, 20 V, dan 25 V yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh tegangan terhadap penyisihan zat warna Remazol Black B selama proses elektrokoagulasi. Pengaruh tegangan terhadap persentase penyisihan zat warna Remazol Black B ditunjukkan dalam grafik antara persentase penyisihan dan waktu elektrokoagulasi pada setiap variasi tegangan. Grafik hasil penyisihan konsentrasi zat warna Remazol Black B pada variasi tegangan ini ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik antara Persen Penyisihan terhadap Waktu Proses Elektrokoagulasi pada Variasi Tegangan

Gambar 2 menunjukkan bahwa tegangan memiliki pengaruh dalam penyisihan konsentrasi Remazol Black B selama proses elektrokoagulasi. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi tegangan yang digunakan dapat memberikan kemampuan penyisihan yang semakin baik. Hal ini dikarenakan semakin tinggi tegangan yang digunakan akan meningkatkan densitas arus yang dihasilkan. Densitas arus yang semakin meningkat menyebabkan reaksi oksidasi pada anoda dan reduksi pada katoda akan berjalan semakin cepat sehingga pembentukan spesi koagulan akan semakin cepat dan koagulan yang terbentuk akan semakin banyak (Sajjadi, 2017).

Pada gambar 2 menunjukkan bahwa garis persen penyisihan zat warna antara tegangan 10 V, 15 V, dan 20 V tidak memiliki jarak yang jauh. Perbedaan antar variasi tegangan terlihat jelas pada menit ke-60 proses elektrokoagulasi. Untuk tegangan 25 V, ditandai dengan *slope* yang tajam, dan menghasilkan nilai penyisihan yang cukup tinggi. Akan tetapi pada menit ke-10 dan ke-20 proses elektrokoagulasi, penyisihan pada tegangan 25 V hanya sebesar 12,15% dan 27,22%. Penyisihan pada menit ini lebih rendah dibandingkan dengan penyisihan pada tegangan

yang lainnya. Sedangkan ketika proses elektrokoagulasi pada menit ke-30 hingga menit ke-60, penyisihan yang terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan penyisihan pada tegangan yang lainnya. Hal ini dapat terjadi karena nilai pH pada tegangan 25 V mengalami peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan dengan peningkatan nilai pH pada tegangan yang lainnya, dimana pada menit ke-30 dan ke-60 nilai pH pada tegangan 25 V sebesar 7,8 dan 8,8, seperti yang dapat dilihat pada tabel 1.

Semua grafik menunjukkan pola yang sama. Penyisihan meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan elektrokoagulasi, dimana 25 V memiliki penyisihan tertinggi pada waktu proses elektrokoagulasi selama 60 menit, yaitu sebesar 94,97%, diikuti dengan tegangan 20 V, 15 V, dan 10 V berturut-turut sebesar 51,31%; 50,79%; dan 49,31%.

Salah satu faktor yang mempengaruhi penyisihan konsentrasi zat warna adalah koagulan yang terbentuk dari disolusi anoda selama proses elektrokoagulasi. Semakin banyak koagulan, flok meningkat dan polutan tersisihkan (Dalvand, 2011). Semakin tinggi kandungan koagulan, endapan yang terbentuk juga akan semakin banyak. Pembentukan endapan pada proses pengolahan larutan akan memicu timbulnya masalah sekunder dan biaya perawatannya dapat melebihi biaya proses elektrokoagulasi itu sendiri (Balik, 2016).

Pada elektroda, anoda akan mengalami reaksi oksidasi membentuk Al^{3+} dan mengikat OH^- membentuk senyawa $Al(OH)_3$ yang dapat mengikat polutan, sedangkan pada katoda akan menghasilkan gas hidrogen yang berfungsi untuk mengangkat flok yang terbentuk keatas permukaan, flok yang terbentuk semakin lama akan bertambah besar (Ni'am dkk, 2017). Reaksi oksidasi dan reduksi yang berlangsung pada anoda dan katoda mengikuti persamaan reaksi sebagai berikut (Canizares dkk, 2007).

Pada Anoda:

$$Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^- \quad (12)$$

$$Al^{3+}_{(aq)} + 3OH^-_{(aq)} \rightarrow Al(OH)_{3(s)} \quad (13)$$

Pada Katoda:

$$3H_2O_{(l)} + 3e^- \rightarrow {}^3/_2H_{2(g)} + 3OH^-_{(aq)} \quad (14)$$

Nilai potensial reduksi standar dari Al adalah -1,66 V, sedangkan nilai potensial reduksi standar H_2O adalah -0,83 V. Semakin tinggi nilai potensial reduksi standarnya maka semakin besar kecenderungan zat untuk tereduksi (Chang, 2003). Nilai potensial reduksi standar Al lebih rendah dari H_2O, sehingga kecenderungan Al untuk tereduksi lebih kecil dibandingkan H_2O dan Al akan lebih cenderung teroksidasi.

Untuk dapat terjadi proses elektrokoagulasi, maka perlu diberikan potensial atau tegangan dari luar. Jika potensial sel terlalu besar, maka elektron yang berjalan antara kedua elektroda dapat melakukan kerja listrik yang besar. Sebaliknya, jika potensial sel kecil maka elektron dalam jumlah sama hanya dapat melakukan kerja listrik yang kecil. Nilai potensial sel yang didapatkan melalui persamaan Nernst menunjukkan semakin tinggi tegangan yang digunakan potensial selnya semakin rendah, sehingga reaksi

Ion Al^{3+} yang dilepaskan pada anoda dapat bereaksi dengan ion OH^- membentuk $Al(OH)_3$ dan membentuk flok-flok dengan partikel-partikel koloid dari larutan. Menurut Lekhlif dkk (2014), spesi koagulan $Al(OH)_3$ umumnya terbentuk pada pH 6,5 – 8, dimana mekanisme utama yang terjadi adalah adsorpsi. $Al(OH)_3$ memiliki daerah permukaan besar yang membantu adsorpsi senyawa larut (organik) dan partikel koloid yang tinggi (Naje, 2015). Flok-flok ini perlahan-lahan akan mengendap di dasar gelas beaker. Sedangkan reaksi reduksi yang terjadi pada katoda menghasilkan gas hidrogen (H_2) yang membawa koloid-koloid zat pengotor naik ke permukaan gelas beaker (proses flotasi) (Heri dan Harsanti, 2010). Hal ini ditandai dengan adanya gelembung atau buih yang banyak. Semakin lama proses elektrokoagulasi berlangsung maka akan semakin banyak koloid-koloid yang terikat membentuk flok-flok berukuran besar. Spesi $Al(OH)_3$ yang terbentuk memiliki luas permukaan yang lebih besar, sehingga lebih menguntungkan untuk menjerat partikel flok dan koloid yang terbentuk dengan proses sedimentasi atau flotasi (Comninellis dan Chen, 2010).

Selama proses elektrokoagulasi, pH larutan akan mengalami kenaikan seiring berjalannya waktu. Peningkatan nilai pH pada variabel tengangan tiap interval waktu ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Perubahan Nilai pH pada Variabel Tegangan tiap Interval Waktu

Tegangan	pH pada menit ke-						
(Volt)	0	10	20	30	40	50	60
10	6,78	6,84	7,2	7,2	7,53	7,56	7,6
15	7,1	7,1	7,3	7,34	7,6	7,9	8,0
20	7,0	7,1	7,1	7,2	7,4	8,2	8,5
25	6,9	7,2	7,4	7,8	8,4	8,7	8,8

Tabel 1 menunjukkan bahwa tiap variabel tegangan memiliki rentang pH proses yang berbeda dan persen penyisihan yang berbeda. Secara keseluruhan pH dari tiap variabel mengalami kenaikan. Kenaikan nilai pH terjadi pada seluruh perlakuan sejalan dengan bertambahnya lama waktu perlakuan. Peningkatan nilai pH yang terjadi disebabkan karena pada proses elektrokoagulasi terjadi reduksi air membentuk gas H_2 dan ion OH^-. Katoda pada proses elektrokoagulasi menghasilkan ion OH^-

yang akan menaikkan nilai pH. Nilai pH larutan juga mempengaruhi jumlah ion dalam larutan dan kelarutan dari produk yang dibentuk. pH larutan mempengaruhi secara keseluruhan efisiensi dan efektifitas elektrokoagulasi (Ni'am dkk, 2017).

Selama proses elektrokoagulasi, ada ion H^+ bebas yang terbentuk, dan ion H^+ ini meningkatkan konduktivitas larutan sampel. Pada pH basa, akan ada ion OH^-. Namun ion OH^- yang terbentuk ini akan terus bereaksi dengan ion logam untuk menghasilkan spesi koagulan yang menyebabkan arus yang didapat semakin kecil.

Ketika terjadi disolusi anoda, ion positif yang dihasilkan akan menetralkan muatan partikel kolid yang memiliki muatan berlawanan karena adanya gaya tarik elektrostatik dan *Van der Waals* (Metcalf dan Eddy, 2003). Terjadi netralisasi muatan koloid dimana zat warna koloid pada larutan cair umumnya bermuatan negatif, sehingga menurunkan nilai dari stabilitas koloid (Hidayati dan Himma, 2018).

Dapat dilihat pada tabel 1 bahwa semakin tinggi tegangan menyebabkan pH akhir tiap variasi tegangan semakin meningkat. Berdasarkan hukum Ohm, naiknya tegangan akan menyebabkan naiknya arus pada proses elektrokoagulasi, karena arus berbanding lurus dengan tegangan (Ridantami dkk, 2016). Naiknya arus dipengaruhi oleh jumlah elektron yang dihasilkan selama reaksi oksidasi di anoda. Semakin banyak elektron yang dihasilkan maka besar arus yang dihasilkan juga akan semakin besar (Young, 2004). Hubungan antara arus dan jumlah elektron ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$I = \frac{n.e}{t} \quad (15)$$

Dimana I merupakan arus listrik (A), n merupakan jumlah elektron, e merupakan muatan elektron, dan t adalah waktu (s) (V.S Bagotsky, 2006).

Semakin tinggi tegangan, maka kuat arus yang terukur juga akan semakin tinggi, sehingga akan mempengaruhi banyaknya elektron yang dihasilkan selama reaksi oksidasi di anoda. Banyaknya elektron ini berbanding lurus dengan nilai arus. Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran arus pada tegangan 20 V dan 25 V pada tabel 2 berikut.

Tabel 2 Data Hasil Pengukuran Arus pada Tegangan 20 V dan 25 V

Tegangan	pH pada menit ke-						
(Volt)	0	10	20	30	40	50	60
20	1,73	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74
25	1,78	1,78	1,78	1,79	1,79	1,79	1,79

Menurut Comninellis dan Chen (2010), densitas arus pada proses elektrokoagulasi berpengaruh terhadap pembentukan koagulan dari anoda yang terlarut. Anoda terlarut yang dihasilkan selama proses elektrokoagulasi dapat dirumuskan melalui turunan persamaan hukum Faraday berikut:

$$W = \frac{I.t.M}{N.f} \quad (16)$$

Dimana W merupakan banyaknya massa elektroda terlarut (gr), *I* merupakan arus (A), *t* adalah waktu (s), *f* adalah konstanta Faraday sebesar 96500 C/mol, *M* adalah massa molar elektroda dan *n* adalah bilangan elektron pada reaksi oksidasi dan reduksi. Dari persamaan ini menunjukkan bahwa pada proses elektrokoagulasi, arus akan berbanding lurus dengan massa anoda terlarut. Berikut tabel data perubahan massa anoda terlarut.

Tabel 3 Perubahan Massa Anoda pada Variabel Tegangan

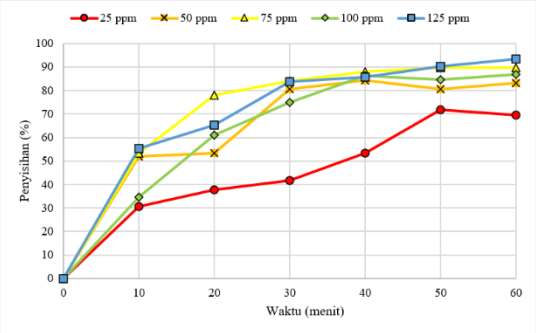
Tegangan (Volt)	Anoda 1		Anoda 2	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir
10	7.26	7.25	7.15	7.14
15	7.10	7.09	6.99	6.98
20	7.21	7.20	7.17	7.15
25	7.18	7.16	7.25	7.23

Secara teoritis, nilai arus akan berbanding lurus dengan massa anoda terlarut. Pada hasil penelitian, semakin tinggi tegangan maka semakin besar massa anoda terlarut. Semakin banyak massa anoda yang berkurang, maka semakin banyak koagulan yang dikeluarkan menuju larutan. Anoda akan terdisolusi menjadi ion Al^{3+} yang akan bereaksi dengan ion OH^- dari hasil reaksi reduksi di katoda membentuk $Al(OH)_3$ sebagai koagulan yang akan berikatan dengan partikel zat warna. Anion pada partikel zat warna yang berupa SO_3^{2-} akan megikat kation $Al(OH)_3$ hingga terbentuk endapan yang dapat dipisahkan dari larutan. pH juga berpengaruh dalam proses pelarutan anoda. Pada penelitian ini, elektroda yang digunakan adalah elektroda aluminium (Al), dimana Al cenderung mudah bereaksi pada kondisi pH 6,5 – 8. Anoda terlarut tersebut akan membentuk koagulan yang berperan dalam penyisihan larutan zat warna Remazol Black B.

Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis terhadap Penyisihan Zat Warna

Pada penelitian ini, dengan tegangan optimum yang didapatkan yaitu 25 V dilakukan proses elektrokoagulasi dengan variasi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis. Variasi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis Remazol Black B yang digunakan adalah 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm, dan 125 ppm yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal larutan pewarna sintetis terhadap penyisihan zat warna Remazol Black B. Pengaruh konsentrasi awal pewarna sintetis terhadap penyisihan zar warna Remazol Black B ditunjukkan dalam grafik antara persen penyisihan dan waktu elektrokoagulasi

pada setiap variasi konsentrasi awal pada tegangan optimum. Grafik hasil penyisihan konsentrasi zat warna Remazol Black B pada variasi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis ini ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik antara Persen Penyisihan terhadap Waktu Proses Elektrokoagulasi pada Variasi Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis

Berdasarkan pada gambar 3 menunjukkan bahwa konsentrasi awal larutan pewarna sintetis memiliki pengaruh dalam penyisihan konsentrasi Remazol Black B selama proses elektrokoagulasi. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis yang digunakan mengakibatkan kenaikan penyisihan Remazol Black B pada tegangan yang sama. Hal ini dikarenakan semakin tingginya konsentrasi awal larutan menyebabkan meningkatnya interaksi antara koagulan dengan partikel zat warna dalam larutan. Menurut *dilute solutions theory*, pada larutan dengan konsentrasi rendah terjadi pembentukan lapisan difusi di sekitar elektroda yang dapat menyebabkan laju reaksi berjalan lambat. Sedangkan pada larutan terkonsentrasi, lapisan difusi tidak berpengaruh pada laju penyebaran ion logam pada permukaan elektroda (Sajjadi, 2017).

Grafik pada gambar 3 mempresentasikan bahwa penyisihan Remazol Black B pada tiap variasi konsentrasi awal mengalami peningkatan seiring dengan berjalannya waktu elektrokoagulasi. Jumlah logam hidroksida yang terbentuk berbanding lurus dengan waktu elektrokoagulasi (Khandegar, 2012). Semakin lama waktu proses elektrokoagulasi maka koagulan yang terbentuk akan semakin banyak sehingga partikel zat warna yang terdestabilisasi juga akan semakin banyak.

Berdasarkan pada tabel 4, penyisihan tertinggi pada proses elektrokoagulasi selama 60 menit dengan variasi konsentrasi awal larutan pada tegangan optimum didapatkan pada larutan dengan konsentrasi awal 125 ppm yaitu sebesar 93,33%, sementara penyisihan terendah didapatkan pada konsentrasi awal 25 ppm yaitu sebesar 69,55%. penyisihan pada konsentrasi awal 50 ppm sebesar 83,27%, diikuti dengan meningkatnya penyisihan pada konsentrasi awal 75 ppm yaitu sebesar 89,79%. Namun penyisihan pada konsentrasi awal 100 ppm tidak lebih tinggi daripada konsentrasi awal 75 ppm, yaitu sebesar 86,87%. Hal ini dapat terjadi karena nilai pH pada konsentrasi awal 100 ppm lebih rendah daripada konsentrasi awal 75 ppm.

Nilai pH larutan dapat mempengaruhi penyisihan. Semakin pH larutan mendekati pH optimasi, maka efisiensi penyisihan akan semakin tinggi (Khandegar, 2013). Dapat dilihat pada tabel 4, sama halnya seperti pada penelitian sebelumnya, pH larutan larutan mengalami kenaikan seiring berjalannya waktu proses elektrokoagulasi. Nilai pH yang mengalami kenaikan ini dikaitkan dengan pembentukan ion hidroksida (OH^-) dari reaksi reduksi air pada katoda (Ahmed, 2015). Nilai pH pada konsentrasi awal 100 ppm tiap interval waktu 10 menit tidak lebih tinggi daripada konsentrasi awal 75 ppm.

Tabel 4 Perubahan Nilai pH pada Variabel Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis Tiap Interval Waktu

Konsentrasi	pH pada menit ke-						
(ppm)	0	10	20	30	40	50	60
25	6,7	7,3	7,6	7,9	8,1	8,1	8,1
50	6,86	7,66	7,82	7,92	8,10	8,12	8,20
75	7,00	7,88	8,12	8,14	8,14	8,14	8,29
100	6,30	7,59	7,73	7,86	7,90	7,93	7,96
125	6,9	7,4	8,3	8,6	8,7	8,8	8,8

Tabel 4 menunjukkan bahwa tiap variasi konsentrasi awal larutan pewarna sintetis memiliki rentang pH proses yang berbeda dan persen penyisihan yang berbeda. Secara keseluruhan pH dari tiap variabel mengalami kenaikan. Selama proses elektrokoagulasi nilai pH mengalami kenaikan yang disebabkan oleh reaksi reduksi pada katoda yang membentuk gas hidrogen dan ion hidroksida.

Apabila ditinjau dari tabel 4, pH akhir pada tiap variasi konsentrasi awal mengalami peningkatan dengan semakin meningkatnya konsentrasi pewarna. Namun, pH akhir pada konsentrasi awal 100 ppm tidak lebih tinggi dibandingkan dengan pada konsentrasi awal 75 ppm yang mengakibatkan penyisihan pada konsentrasi awal 100 ppm tidak lebih tinggi daripada konsentrasi awal 75 ppm.

KESIMPULAN

Berdasarkan Penelitian Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar Seri untuk Penyisihan Remazol Black B dengan Variasi Tegangan dan Konsentrasi Awal Larutan Pewarna Sintetis, dapat disimpulkan hasil sebagai berikut.

1. Penyisihan Remazol Black B meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan pada

proses elektrokoagulasi selama 60 menit. Didapatkan penyisihan optimal pada tegangan 25 V sebesar 94,97%, diikuti dengan tegangan 20 V, 15 V, dan 10 V dengan penyisihan berturut-turut sebesar 51,31%; 50,79%; dan 49,31%.

2. Penyisihan Remazol Black B meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal larutan pewarna sintetis pada proses elektrokoagulasi selama 60 menit. Dengan tegangan 25 V, didapatkan penyisihan optimal sebesar 93,33% pada konsentrasi awal pewarna sintetis 125 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

Ge, J., Qu, J., Lei, P., Liu, H. 2004. *New Bipolar Electrocoagulation-electroflotation Process for the Treatment of Laundy Wastewater*. Separation and Purification Technology.

Khandegar, V & Saroha, Anil. 2013. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent - A review. *Journal of environmental management*. 128C. 949-963. 10.1016/j.jenvman.2013.06.043.

Lestari, Novianti Dwi dan Tuhu Agung. 2013. Penurunan TSS dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektrokoagulasi. Jawa Timur: UPN "Veteran" Jatwa Timur. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. Vol. 6 No 1.

Lekhlif, B., Oudrhiri, L., Zidane, F., Drogui, P., dan J. F. Blais. 2014. *Study of the electrocoagulation of electroplating industry wastewaters charged by nickel (II) and chromium (VI)*. ISSN : 2028-2508. Morocco : JMES.

Metcalf, Eddy., Tchobanoglous, George., Burton, Franklin L., Stensel, H. David. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment Disposal and Reuse, fourth edition*. New York: McGraw-Hill.

Naje, Ahmed Samir., Chelliapan, Shreeshivadasan., Zakaria, Zuriati., Abbas, Saad A. 2015. Treatment Performance of Textile Wastewater Using Electrocoagulation (EC) Process under Combined Electrical Connection of Electrodes. Int. J. *Electrochem*. Sci., 10 (2015) 5924 – 5941.

Nurhaslina, C.R., R., Nur Hazirah., K.H., Ku Halim. 2014. Dye Decolourization of The Remazol Dye in Textile Effluent by Using Bambusa Heterstachya. Switzerland: *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 575: 60-64.

Sajjadi, S. A. & Irani, M. (2018). Removal of Remazol Black B dye by electrocoagulation process coupled with bentonite as an aid coagulant and natural adsorbent. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment*, *5*(3), 1058-1065.

V.S Bagotsky. 2006. *Fundamental of Electrochemistry 2nd Edition*. Moscow: Wiley-Interscience.

Widodo, Didik Setiyo., Gunawan., dan Kristanto, Wahyu Adi. 2008. ELEKTROREMEDIASI PERAIRAN TERCEMAR: PENGGUNAAN GRAFIT PADA ELEKTRODEKOLORISASI LARUTAN REMAZOL BLACK B. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi XI No. 3*. Semarang: Universitas Diponegoro.

Young, Hugh D. 2004. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh*. Jakarta: Erlangga.